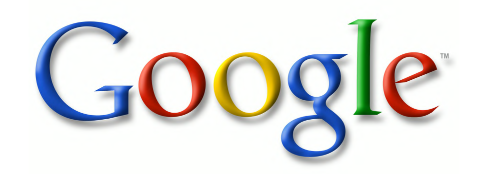
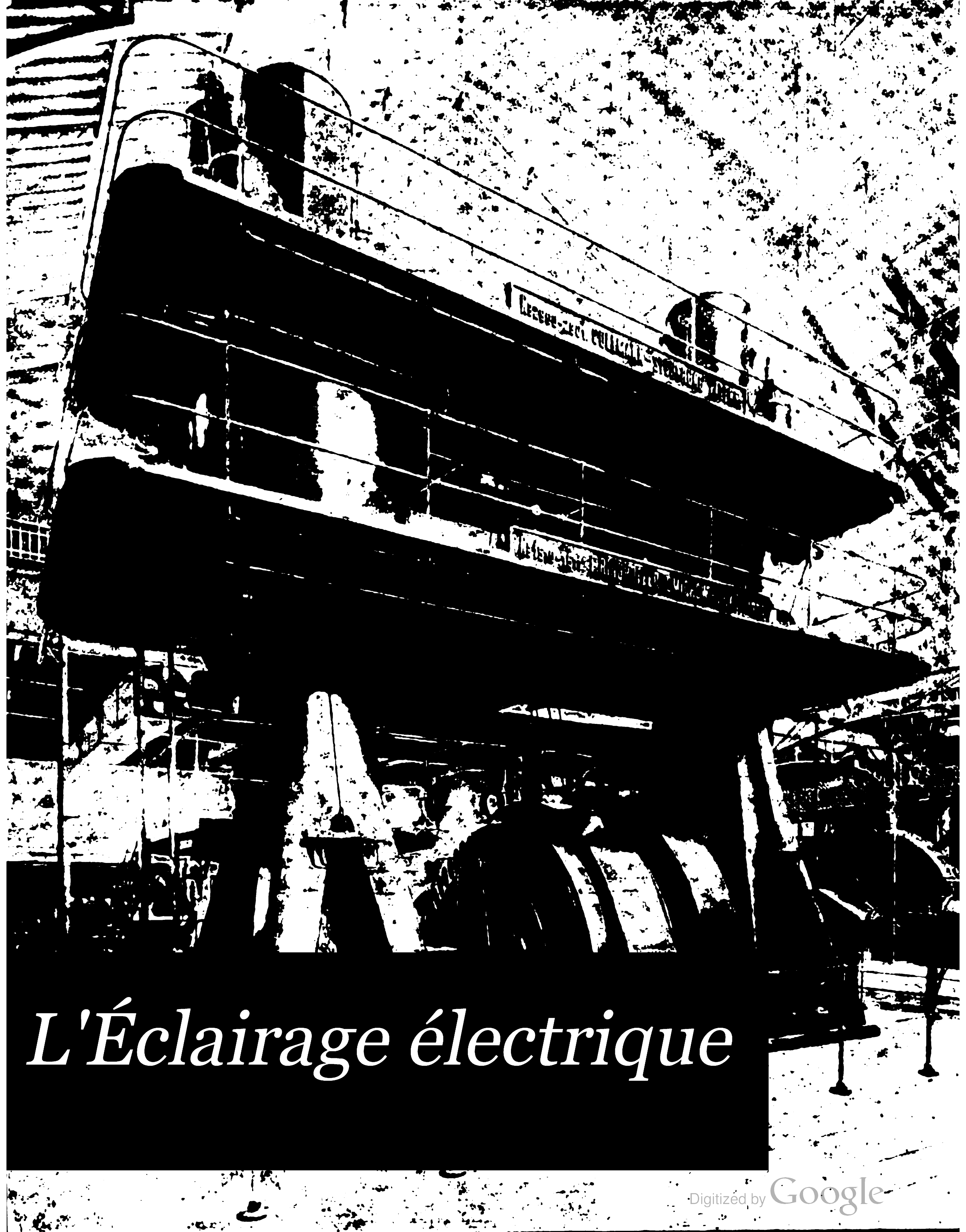



L'Éclairage électrique


SIGILLVM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV ANG
CHRISTO ET ECCLESIAE
VE RI TAS

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

TOME XXVIII

3e TRIMESTRE 1901

PARIS

ANCne LIBrie G. CARRÉ ET C. NAUD

C. NAUD, ÉDITEUR

3, RUE RACINE, 3



Tome XXVIII. **Samedi 6 Juillet 1901.** **8e Année. — N° 27**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

EXPOSITION UNIVERSELLE

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 1 000 KILOWATTS DE MM. SIEMENS ET HALSKE DE VIENNE ET DE M. F. RINGHOFFER DE PRAGUE

La succursale de MM. Siemens et Halske, à Vienne, et M. F. Ringhoffer, de Smichow-les-Prague, avaient exposé en commun un des groupes à courant continu les plus importants du Palais d'Électricité et le seul groupe à courant continu de la section autrichienne.

Cet ensemble, très remarqué, est représenté sur la photographie de la figure 1 ; il présente, tant au point de vue du moteur à vapeur que de la dynamo, des particularités très caractéristiques qui en font un des groupes les plus intéressants à étudier.

Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur de M. F. Ringhoffer est du type vertical à triple expansion et à quatre cylindres ; mais, contrairement à ce qui existe dans toutes les autres machines à quatre cylindres exposées, il y a, pour des raisons que nous donnerons plus loin, deux cylindres à haute pression.

Les dimensions et constantes de la machine sont les suivantes :

Diamètre des cylindres à haute pression	55 cm
» du cylindre à moyenne pression	115 »
» du cylindre à basse pression	165 »
Course commune des pistons	90 »
Vitesse angulaire en tours par minute	95
Vitesse linéaire des pistons en mètres par seconde	2,85 m
Pression de la vapeur d'admission	12 kg : cm².

A cette vitesse et à cette pression, la puissance normale de la machine est de 1 600 chevaux indiqués ; cette puissance peut être poussée facilement à 2 000 chevaux.



Chacun des petits cylindres (fig. 2 et 3) est monté en tandem avec l'un des gros, l'un des cylindres à haute pression et le cylindre à moyenne pression sont placés à droite de la dynamo et l'autre groupe de deux cylindres, à gauche ; les petits cylindres sont à la partie supérieure.

Les considérations que donne M. F. Ringhoffer pour l'adoption de deux cylindres à haute pression sont nombreuses, nous les reproduisons ici telles qu'elles ont été présentées aux membres du Jury.

1° Cette division du cylindre à haute pression diminue considérablement la charge des tiges de pistons, puisque c'est le cylindre à haute pression qui, pour certaines charges modérées, subit des pressions initiales très élevées. En employant la disposition choisie, ces pressions sont réparties par moitié sur les deux tiges.

2° Pour la même raison, la division du travail sur les deux manivelles est très avantageuse et donne d'excellents résultats, à n'importe quelle charge, en ce qui concerne l'égalité des efforts. Il en résulte qu'on peut utiliser un volant relativement léger.

3° La régularité est presque semblable à celle de deux machines jumelles, c'est-à-dire excessivement précise ; à chaque révolution, le régulateur agit quatre fois, et presque coup sur coup, des deux côtés de la machine.

4° La stabilité de la machine est considérablement améliorée par suite de la petitesse et de la légèreté extrêmes des cylindres à haute pression par rapport aux autres.

Les deux groupes de cylindres travaillent chacun sur un arbre distinct et les deux arbres sont réunis à l'arbre de la dynamo par des plateaux d'accouplement forgés avec les arbres eux-mêmes.

Les deux manivelles sont à 90°; celle correspondant au groupe à moyenne pression est en arrière de l'autre.

Les deux arbres sont soutenus par deux paliers chacun, portés par les plaques de fondation ; les bâtis reposent sur ces plaques par quatre pieds placés symétriquement. Les cavités en fonte servant à recueillir l'huile sont prolongées suivant les contours extérieurs du bâti et également sur les paliers principaux de façon à ce que les plaques de fondation atteignent une hauteur sérieuse et assurent une grande résistance contre les déviations.

Les crosses de pistons sont en acier coulé et ont des glissières réglables en fonte doublées de métal blanc. Les pistons sont en fonte et creux, ils ont des anneaux également en fonte.

Le cylindre à moyenne pression et celui à basse pression n'ont pas d'enveloppe de vapeur; ils ont chacun, pour l'échauffement avant la mise en route, deux petites soupapes communiquant directement.

Les enveloppes de vapeur des petits cylindres servent uniquement à l'échauffement préalable et à la vapeur s'échappant de ces cylindres.

Cette disposition s'applique très avantageusement à l'emploi de la vapeur surchauffée, car la vapeur d'éjection, sortant par la chemise de vapeur, provoque un refroidissement de la surface supérieure des cylindres.

La vapeur est amenée aux petits cylindres par un tuyau placé extérieurement et débouchant par deux conduites séparées dans les boîtes des soupapes supérieure et inférieure. De cette façon, la paroi intérieure du cylindre à haute pression est sans ouverture sur tout le parcours du piston ; il en résulte que la dilatation du cylindre, produite par l'échauffement préalable, est très régulière.

Pour réunir les deux parties de la machine longitudinalement, on a disposé deux fortes traverses de fonte, l'une entre les supports, l'autre entre le cylindre à moyenne pression et



celui à basse pression ; ces traverses servent en même temps à porter les deux galeries principales destinées à assurer le service de la machine. Le service des crosses de piston

Fig. 1. — Groupe électrogène à courant continu de 1000 kilowatts de MM. Siemens et Halske de Vienne et de M. F. Ringhoffer de Smichow-les-Prague.

est fait de deux petites galeries séparées, disposées sur les supports. Les diverses galeries sont reliées entre elles par des escaliers simples.

La distribution dans les deux cylindres à haute pression se fait par des soupapes à double

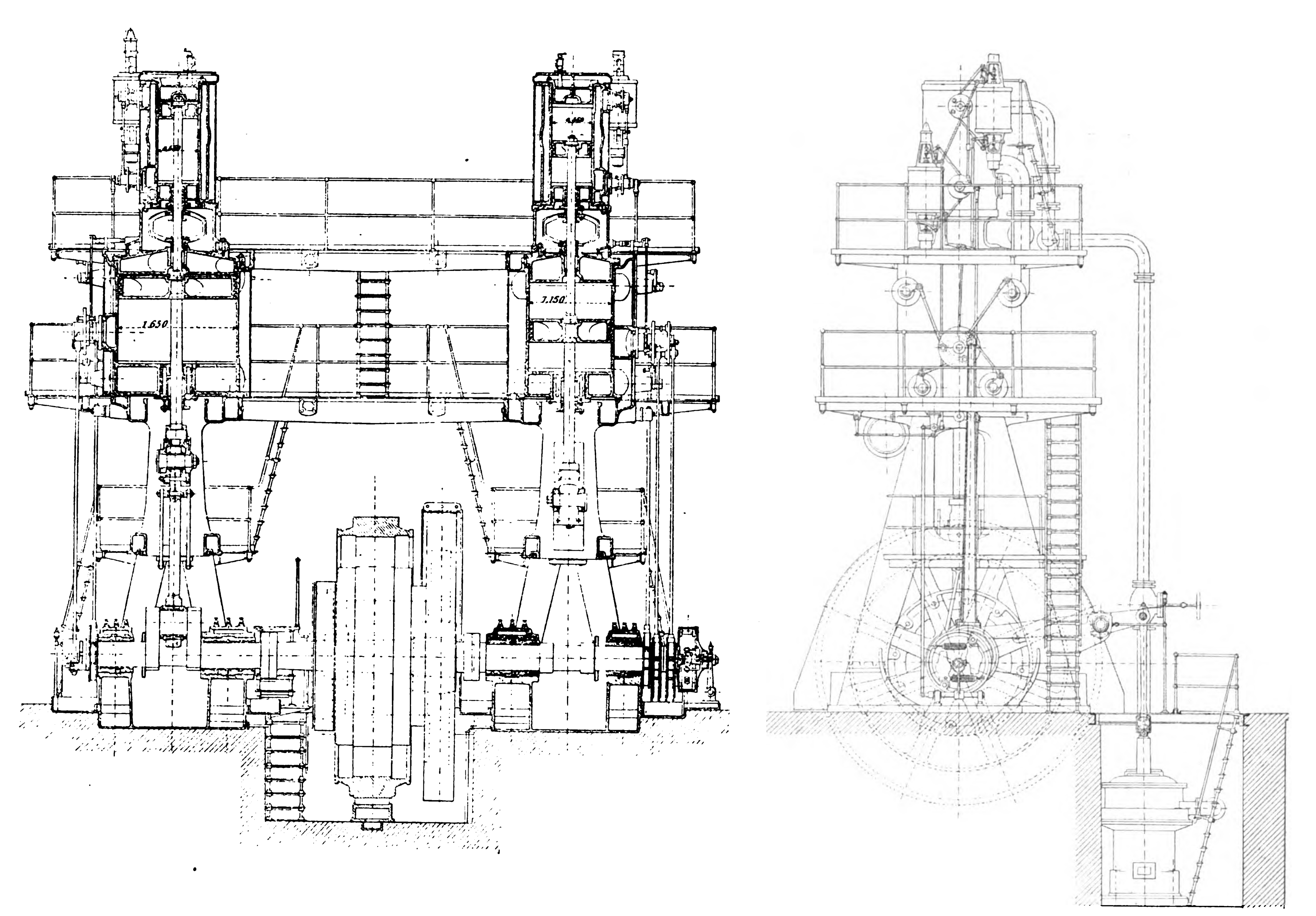


Fig. 2 et 3. — Vues de face et de bout avec coupes partielles, du groupe électrogène de 1 000 kilowatts de M. F. Ringhoffer et de MM. Siemens et Halske de Vienne.

siège avec déclic système A. Collmann, aussi bien pour les soupapes d'admission que pour les soupapes d'échappement. Les quatre soupapes de chaque cylindre sont commandées par un seul excentrique. Pour les soupapes d'admission, la position des déclics dépend de la position du régulateur ; l'admission peut atteindre 70 p. 100 de la course.

Pour les soupapes à échappement, les déclics sont animés d'un mouvement auxiliaire, que leur communique un des points du plateau tournant par l'intermédiaire d'une biellette de la distribution Corliss des cylindres à moyenne pression et de basse pression ; ce mouvement provoque le déclic seulement après la fermeture de la soupape d'admission et permet

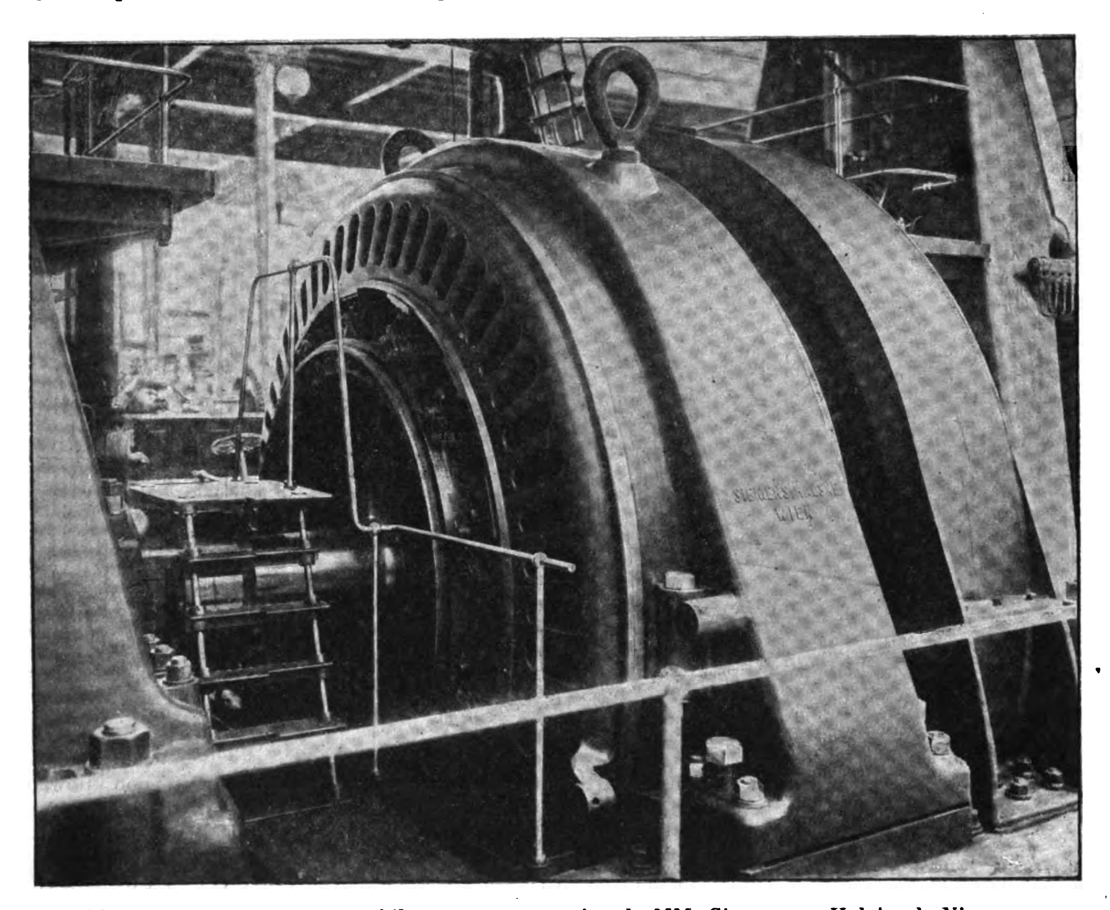


Fig. 4. — Dynamo de 1 000 kilowatts pour traction de MM. Siemens et Halske de Vienne.

ainsi de régler à volonté le degré de compression. Le régulateur est un régulateur d'axe, et placé sur l'extrémité libre de l'axe.

La distribution dans les cylindres à pression moyenne et à basse pression, est à tiroirs tournants genre Corliss.

Dans le cylindre à pression moyenne les tiroirs d'admission et les tiroirs d'échappement sont actionnés chacun par un excentrique de façon à permettre le réglage de la charge et la compression indépendamment l'une de l'autre. Dans le cylindre à basse pression, les quatre tiroirs sont actionnés par plateau tournant Corliss, et l'excentrique transmetteur du mouvement est remplacé par un bouton de manivelle assujetti à l'extrémité libre de l'arbre.

De cette manière il n'est pas fait usage, ni dans la distribution, ni dans le système de

***

régulation, d'engrenages ou d'arbres de distribution ; on est donc assuré d'une marche silencieuse et on évite toutes les inexactitudes, souvent très sérieuses, qui résultent de l'usure des dents ou de déviations de l'arbre. Tous les appareils en mouvement de la distribution sont disposés sur les côtés extérieurs de la machine pour protéger autant que possible la dynamo installée à l'intérieur contre les projections d'huile.

Le graissage central est employé pour tous les paliers principaux, les boutons de manivelle, les crosses, les glissières, les excentriques et les tiges actionnant la pompe à air. L'huile, venant d'un réservoir installé sur la galerie centrale, est conduite tout d'abord à quatre tubes distributeurs disposés à différents points. De là, elle est distribuée aux

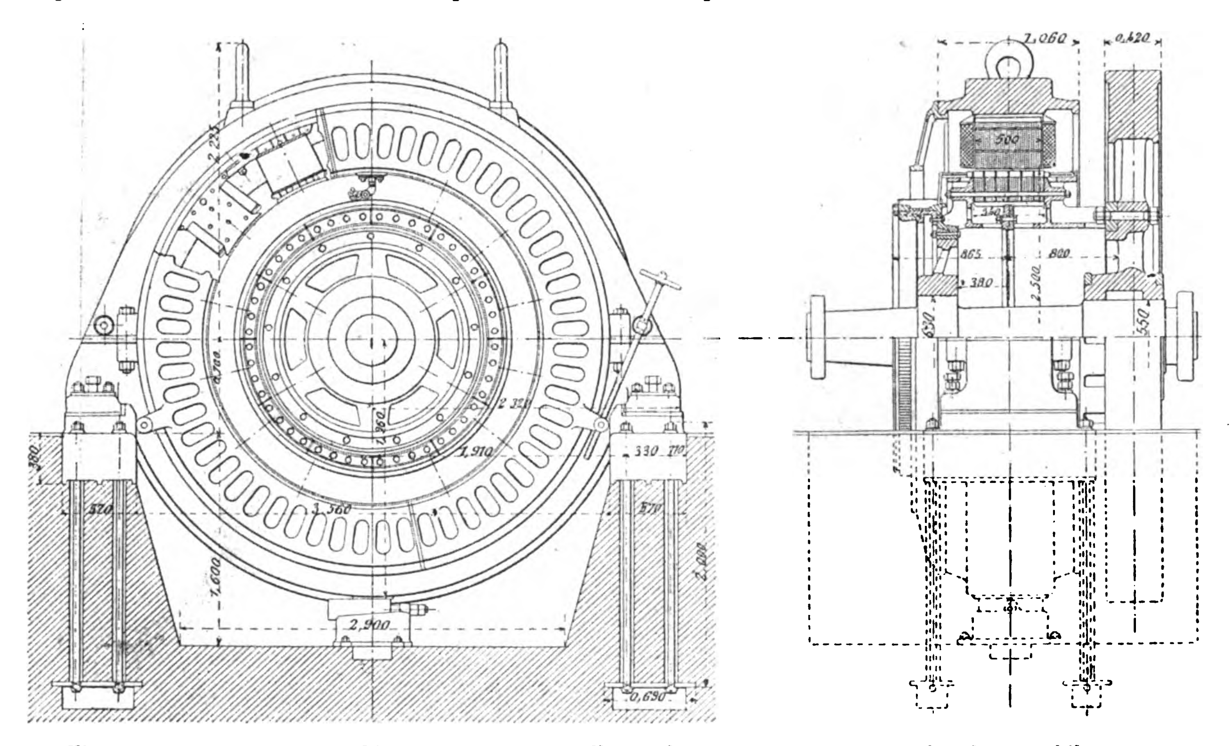


Fig. 5 et 6. — Vues d'ensemble avec coupes partielles de la dynamo à courant continu de 1 000 kilowatts, de MM. Siemens et Halske de Vienne.

différents points de consommation par des appareils à écoulements réglables. Toute l'huile qui s'écoule est recueillie dans les cavités ménagées sous les excentriques et les manivelles ; de là elle passe par une conduite et arrive à deux filtres placés dans le sous-sol. Après avoir été purifiée dans ces filtres, l'huile est renvoyée au moyen de pompes dans le réservoir central.

Les condenseurs et pompes à air sont disposés dans les fondations de la machine. La conduite allant du cylindre à basse pression aux condenseurs, va tout d'abord jusqu'au milieu de la machine, puis se bifurque et se rend dans les deux condenseurs.

La longueur du chemin à parcourir par la vapeur depuis le cylindre jusqu'à l'un des deux condenseurs est ainsi la même ; de plus, ces condenseurs sont encore réunis par un tuyau de communication aboutissant aux chambres d'eau.

Chaque condenseur est muni d'une vanne de fermeture séparée, dans le but de régler la quantité d'eau projetée.

Les pompes à air sont verticales et à double effet.



Une des particularités de ce système, inventé par M. le professeur Doerfel de Prague, consiste en ce qu'au-dessus du piston sont disposés des caissons à air ; l'air contenu dans ces caissons prend part à l'expansion et à la compression, et assure une marche douce et régulière.

Les trois systèmes de soupapes des pompes à air sont munis de recouvrements en caoutchouc « Dermatine », et les deux pompes à air sont mues par les bielles des machines, au moyen de leviers et de tiges en fer forgé.

Le moteur à vapeur comporte, outre la partie tournante de la dynamo, un volant sur

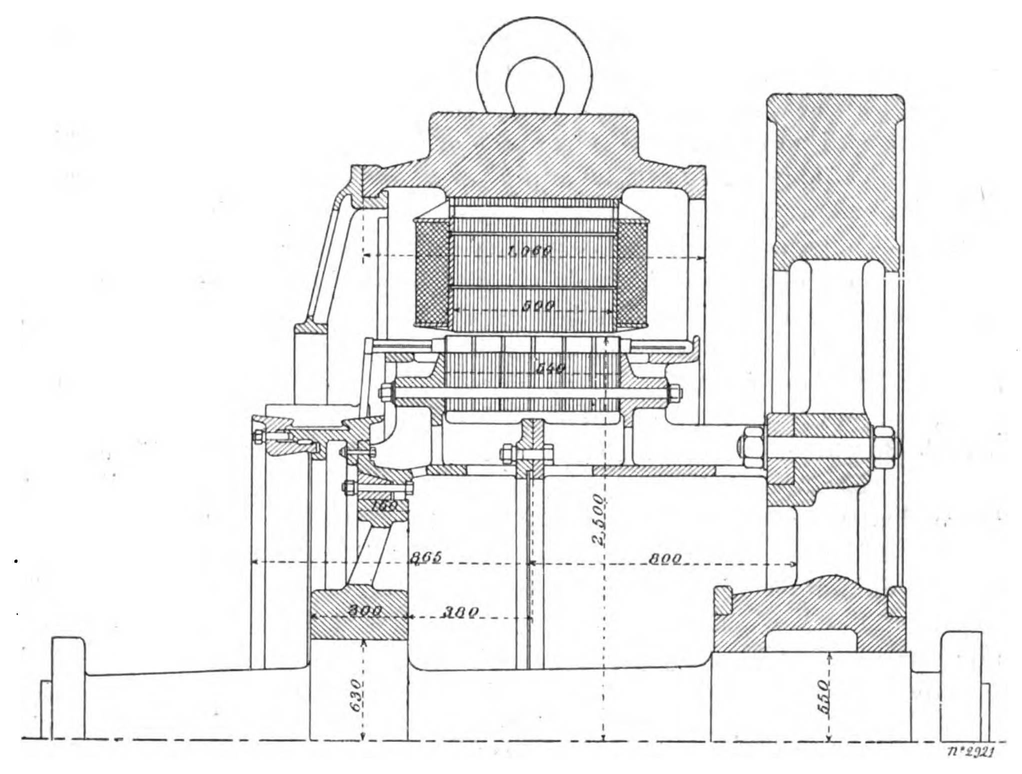


Fig 7. — Demi-coupe par l'axe de la dynamo de 1 000 kilowatts, de MM. Siemens et Halske de Vienne.

lequel est fixé l'induit de la dynamo. Le poids du volant est de 24 000 kg et son diamètre de 4 m ; la largeur de la jante est de 42 cm.

La consommation de vapeur surchauffée à une température de 330° et 340°, mesurée à l'entrée des cylindres à haute pression, est de 4,4 kg par cheval-heure indiqué pour une pression initiale de 12 kg : cm² et sous la charge la plus favorable.

Dynamo. — La dynamo à courant continu de MM. Siemens et Halske à Vienne commandée par le moteur à vapeur de M. F. Ringhoffer est du type volant.

Sa puissance est de 1 000 kilowatts sous une tension de 550 volts ; ce qui correspond à un débit de 1820 ampères ; toutefois, la machine peut faire la même puissance avec une tension de 500 volts seulement et un débit par suite de 2 000 ampères.

La vitesse de la machine est de 95 tours par minute.

Comme nous l'avons dit en débutant, la dynamo à courant continu de MM. Siemens et Halske présente de nombreuses particularités tant au point de vue mécanique qu'électrique.



C'est une dynamo destinée à un service de traction et susceptible par suite d'une surcharge assez considérable.

La photographie de la figure 4 représente une vue de la dynamo, les figures 5 et 6 en sont des vues de bout et de face avec coupe partielle et la figure 7 une demi-coupe par l'axe. Les figures 8, 9, 10 et 11 montrent des détails de constructions des pôles inducteurs et des carcasses des bobines.

Inducteurs. — Les inducteurs sont constitués par une carcasse en fonte coulée en deux parties, assemblées suivant un diamètre horizontal et portant à la partie inférieure deux pattes par lesquelles la machine repose sur ses fondations.

Le centrage du système inducteur est obtenu par un procédé assez simple consistant à faire reposer les pattes sur la plaque des fondations par des vis calantes et la partie inférieure de la carcasse sur un tabouret placé au fond de la fosse.

La surface d'appui de ce dernier est légèrement inclinée et un coin déplaçable avec une vis dont il forme l'écrou permet de soulever plus ou moins la partie inférieure de la carcasse.

Les pôles inducteurs sont feuilletés et les tôles ont 2 mm d'épaisseur.

La fixation des pôles sur la carcasse inductrice est analogue à celle employée sur quelques alternateurs; elle est obtenue à l'aide de clavettes à section en forme de queue d'aronde qui viennent emprisonner les rebords laissés sur les tôles des pôles inducteurs; chaque clavette est fixée à la carcasse par deux fortes vis.

Le diamètre extérieur de la carcasse inductrice est de 388 cm et son diamètre intérieur de 336 cm. La largeur totale est de 106 cm. La longueur des tôles inductrices parallèlement à l'axe est de 49 cm et celle des noyaux polaires, perpendiculaire à l'axe de 32 cm; les épanouissements ont un développement de 42,3 cm.

L'alésage des inducteurs n'est pas régulier, l'entrefer, suivant une disposition déjà employée par quelques constructeurs, va en croissant d'une corne polaire à l'autre.

L'entrefer minimum est de 8 mm et se trouve sous les cornes polaires où le flux tend à s'affaiblir par suite de la réaction d'induit c'est-à-dire sous les cornes situées en arrière dans le sens de rotation de l'induit; l'entrefer maximum sous les cornes d'avant est de 12 mm. De cette façon la distribution du flux le long de l'entrefer est dissymétrique à vide, mais la dissymétrie diminue avec la charge pour devenir plus ou moins symétrique de chaque côté de l'axe des pôles à pleine charge.

Le diamètre moyen d'alésage est de 252 cm.

Les bobines inductrices sont enroulées sur des carcasses en laiton en deux parties fixées par des vis sur les tôles inductrices. Les deux parties sont serrées l'une contre l'autre à l'aide de petites vis et la carcasse reçoit une bobine en fil de 5 mm de diamètre et comportant 770 spires.

Toutes les bobines inductrices sont montées en série; la résistance du circuit ainsi formé est de 18 ohms à chaud. La machine est excitée en dérivation.

Le poids du cuivre de l'enroulement inducteur est de 3000 kg.

Induit. — L'induit a une constitution tout à fait particulière. La machine comporte un volant spécial claveté sur le même arbre que la dynamo qui sert en même temps de support à l'induit.

A cet effet, celui-ci est disposé sur un double tambour portant chacun un anneau courant le long de la surface extérieure, et c'est entre les deux anneaux que sont serrées les tôles de l'induit. L'un des tambours est boulonné sur les bras du volant tandis que le second est fixé au premier par des boulons traversant des rebords ménagés extérieurement sur les deux tambours.



La partie interne du second tambour, située du côté du collecteur, est un peu évasée et reçoit un disque à bord légèrement tronconique qui y est fixé à l'aide de boulons.

Ce disque est emmanché sur une couronne venue de fonte avec un support claveté sur l'autre et dont les bras sont légèrement inclinés sur la verticale.

Les surfaces latérales des deux tambours sont percées de nombreuses ouvertures pour la ventilation et sont consolidées par des nervures qui réunissent les anneaux de serrages

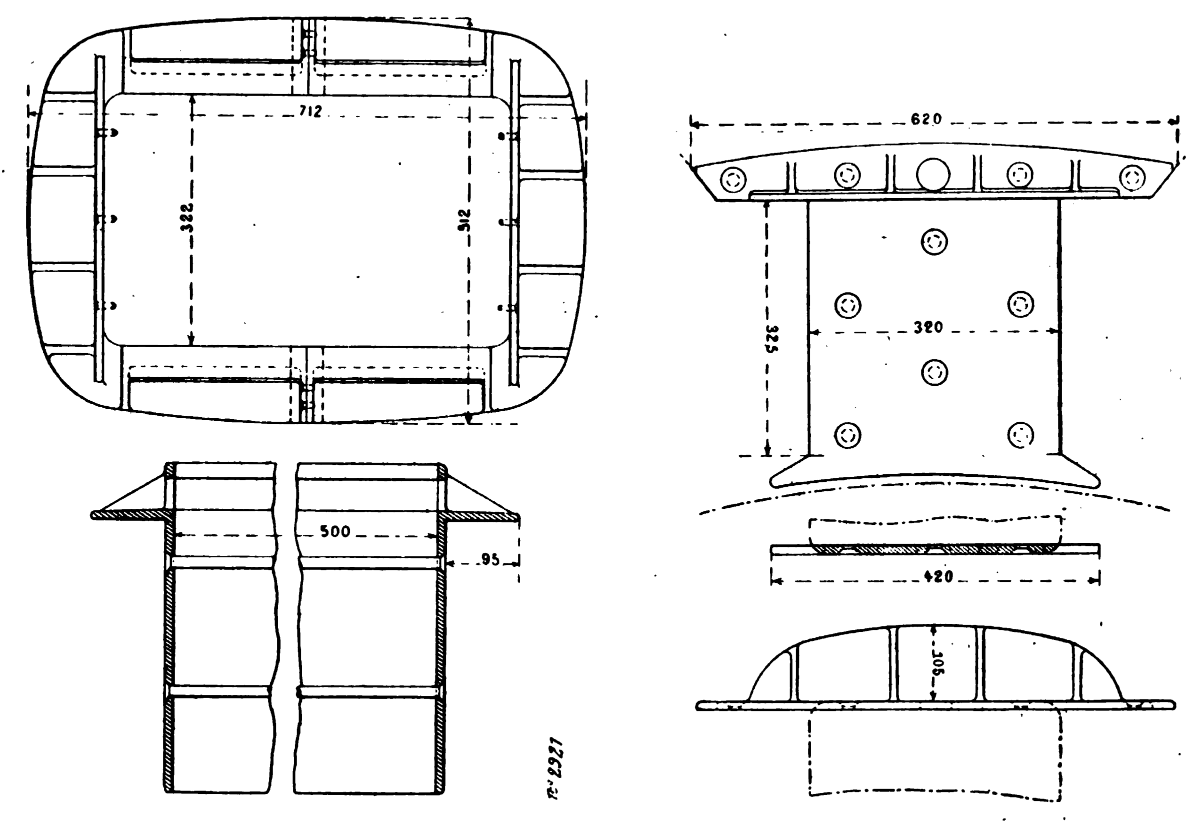


Fig. 8, 9, 10 et 11. — Détails de construction des pôles inducteurs et des carcasses des bobines de la dynamo de 1000 kilowatts, de MM. Siemens et Halske.

des tôles aux rebords ménagés sur les tambours et servant en même temps d'appui aux conducteurs induits.

Les tôles induites sont partagées en six anneaux concentriques séparés entre eux par des cales de 10 mm d'épaisseur et permettant la bonne ventilation des tôles. La largeur totale des anneaux, y compris celle des cales, est de 54 cm.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 250 cm et la hauteur radiale des anneaux de 23 cm.

Le diamètre extérieur des tambours supportant l'induit est de 170 cm.

La surface extérieure de l'induit porte 286 rainures de 5 cm de profondeur radiale et de 1,3 cm de largeur. L'enroulement de l'induit est du type série-parallèle d'Arnold avec 10 circuits en quantité.

Chacune des rainures comporte 4 conducteurs formés par une bande de cuivre plat de 1,8 cm de largeur et 4 mm d'épaisseur ; le nombre total des sections est de 572 et chacune d'elles comprend une seule spire.



Le collecteur est fixé sur un tambour circulaire après le support d'induit; les lames y sont serrées par des segments en forme de cornières cintréeset retenues par des vis.

Le collecteur comporte 572 lames isolées au mica; son diamètre extérieur est de 208 cm et sa largeur utile de 27 cm. Sur ce collecteur frottent quatorze rangées de 5 balais en charbon. Les lignes de balais sont supportées par un anneau ajouré pouvant tourner autour de la carcasse inductrice à l'aide du petit volant à main.

La surface de contact de chaque ligne de balais est de 74 cm^2; ce qui correspond à une densité de courant de 5,4 amp : cm^2.

Les axes des tiges des porte-balais ne sont pas parallèles à l'axe de la machine, mais sont inclinés d'un certain angle réglable à la main de façon à faire varier à volonté la surface de recouvrement de chaque ligne de balais,

La résistance de l'induit entre les balais est de 0,0037 ohm.

Le poids de la dynamo sans le volant auxiliaire est de 45 600 kg.

Résultats d'essais. — L'intensité du courant d'excitation correspondant à la marche à vide avec une tension aux bornes de 550 volts est de 23 ampères.

Le courant d'excitation en charge est de 24 ampères; la perte par excitation est par suite de 13,2 kilowatts, soit 1,3 p. 100.

Le rendement électrique de la dynamo est de 95 p. 100.

L'élévation de température au-dessus de la température ambiante, après 24 heures de marche en charge, est de 30° C.

Les inductions dans les différentes parties de la machine pour la marche à vide sont les suivantes :

Induit	14 500	Gauss.
Dents (induction apparente)	25 800	—
Dents (induction réelle)	20 425	—
Entrefer	10 850	—
Noyaux polaires (calculée)	16 800	—
Carcasse (calculée)	6 750	—

Les forces magnétomotrices nécessaires pour faire passer le flux sont :

Induit	245	Gilbert.
Dents	1 570	—
Entrefer	10 850	—
Noyaux	1 450	—
Carcasse	120	—
Total	14 210	Gilbert.

Les ampère-tours totaux sont donc de 11 325 à vide ; pour la charge normale, les ampère-tours calculés sont de 18 500.

La chute de tension en charge est d'environ 3 p. 100.

MATÉRIEL DE MM. J.-J. RIETER ET Cie DE WINTERTHUR

I. — MATÉRIEL A COURANT CONTINU

DYNAMOS A COURANT CONTINU. — MM. J.-J. Rieter et Cie de Winterthur avaient exposé à Paris divers types courants de leur matériel à courant continu.

Les dynamos à courant continu de MM. J.-J. Rieter et Cie sont classées en trois séries désignées par les lettres H, R et L.



Les dynamos de la première série représentées par les types H0,5 H1,5 et H5, dont les puissances aux bornes sont respectivement de 45, 180 et 600 watts pour des vitesses de 1 500, 2 000 et 1 800 tours par minute, sont du type à inducteur en fer à cheval; la photographie de la figure 1 se rapporte à un de ces types. La photographie de la figure 2 correspond à un moteur de la même série, mais du type cuirassé; ce moteur commande un ventilateur.



Fig. 1. — Moteur à courant continu de MM. J. Rieter et Cie de Winterthur.

Les dynamos de la seconde série étaient représentées par les types R15, R25, R40 et R60, dont les puissances sont respectivement de 1 700, 3 000, 4 800 et 6 000 watts avec des vitesses de 1 400, 1 200 et 1 100 tours par minute.

La figure 3 se rapporte aux dynamos de cette série; toutes ces machines sont bipolaires avec carcasses inductrices de forme sphérique.

Les dynamos de ces deux séries, comme celles de la troisième du reste, sont à induit denté et sont susceptibles d'une surcharge momentanée de 30 p. 100. Elles sont établies généralement pour des tensions de 125 volts.

Les lames des collecteurs sont en cuivre dur étiré et, sans exception, isolées au mica.

Les dynamos de la troisième série « dite série L » étaient représentées par les types L380 et L500.

La première, dont la figure 4 est une photographie, a une puissance de 45,5 kilowatts sous une tension pouvant varier de 120 à 170 volts, de façon à permettre la charge d'une batterie d'accumulateurs. Elle est à 4 pôles.

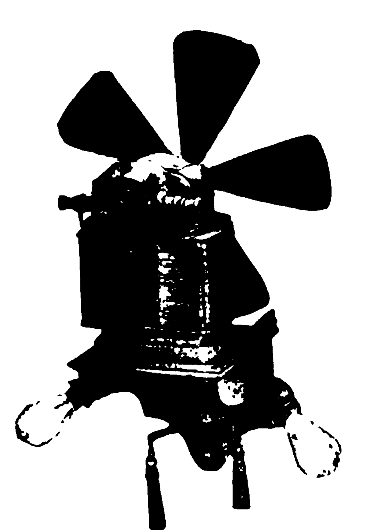


Fig. 2. — Moteur à courant continu pour ventilateur de MM. J.-J. Rieter et Cie.

La seconde, dont nous nous occuperons plus spécialement, a une puissance de 70 kilowatts sous une tension variable de 120 à 180 volts. Le débit est par suite de 583 ampères ou 388 suivant les cas.

La vitesse angulaire est de 550 tours par minute et le nombre de pôles de 6.

Les figures 5 et 6 sont des vues d'ensemble avec coupes partielles de cette dernière machine.

Inducteurs. — La carcasse inductrice est formée par une couronne en fonte en deux parties assemblées par des boulons et dont l'une, la partie inférieure, porte deux pattes qui reposent sur le bâti. Ce dernier porte les 2 paliers venus de fonte avec lui.

Les pôles inducteurs, à section circulaire, sont en acier et portent avec eux leurs épanouissements polaires de forme rectangulaire. Ces pôles sont encastrés dans la couronne inductrice de façon à diminuer l'effet de la résistance magnétique des joints. Ils sont fixés à la carcasse par un boulon la traversant complètement.

Le diamètre extérieur maximum de la carcasse est de 130 cm et sa largeur de 35 cm; l'épaisseur de la couronne inductrice est de 9 cm et son diamètre intérieur de 112 cm.

La hauteur radiale des pôles y compris celle de l'épanouissement et de la partie encastrée est de 28 cm. La partie extérieure du noyau a une hauteur de 20 cm; le diamètre des noyaux est de 22 cm.

La longueur des épanouissements polaires est de 34 cm et leur largeur dans le sens



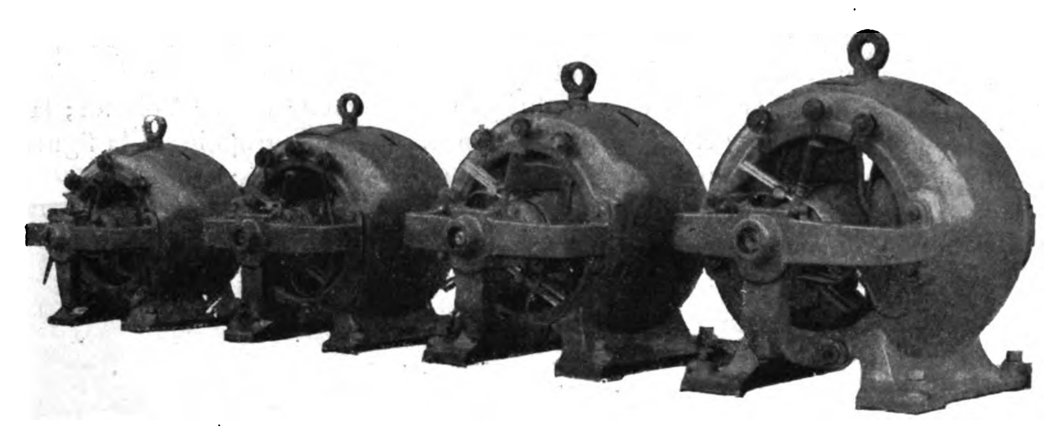


Fig. 3. — Dynamos à courant continu de MM. J.J. Rieter et Cie; série R.

Fig. 4. — Dynamo à courant continu de 45,5 kilowatts, de MM. J.J. Rieter et Cie.

perpendiculaire à l'axe de 24 cm. Le diamètre d'alésage des pièces polaires est de 59,2 cm et l'entrefer de 6 mm.

La dynamo est excitée en dérivation. Les bobines inductrices sont enroulées sur des carcasses métalliques, elles sont retenues par les épanouissements polaires et par les bossages dans lesquels sont encastrés les noyaux.

Chacune des bobines comporte 800 spires de fil de 3,2 mm de diamètre. Toutes les bobines sont groupées en série et la résistance du circuit ainsi formé est de 11 ohms à chaud.

Le poids de la partie fixe non compris le bâti est de 1530 et le poids de cuivre utilisé sur l'inducteur de 320 kg.

Induit. — Le support de l'induit en fonte est en deux parties clavetées sur l'arbre et serrées l'une contre l'autre par un écrou vissé sur l'arbre. Les tôles induites disposées en un seul anneau sont retenues entre les parties du support. Celui-ci porte de chaque côté deux anneaux fixés sur lui et soutenant les gouttières en cuivre servant aux connexions des développantes entre elles.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 58 cm et sa longueur de 36 cm. La hauteur radiale des tôles est de 12 cm.

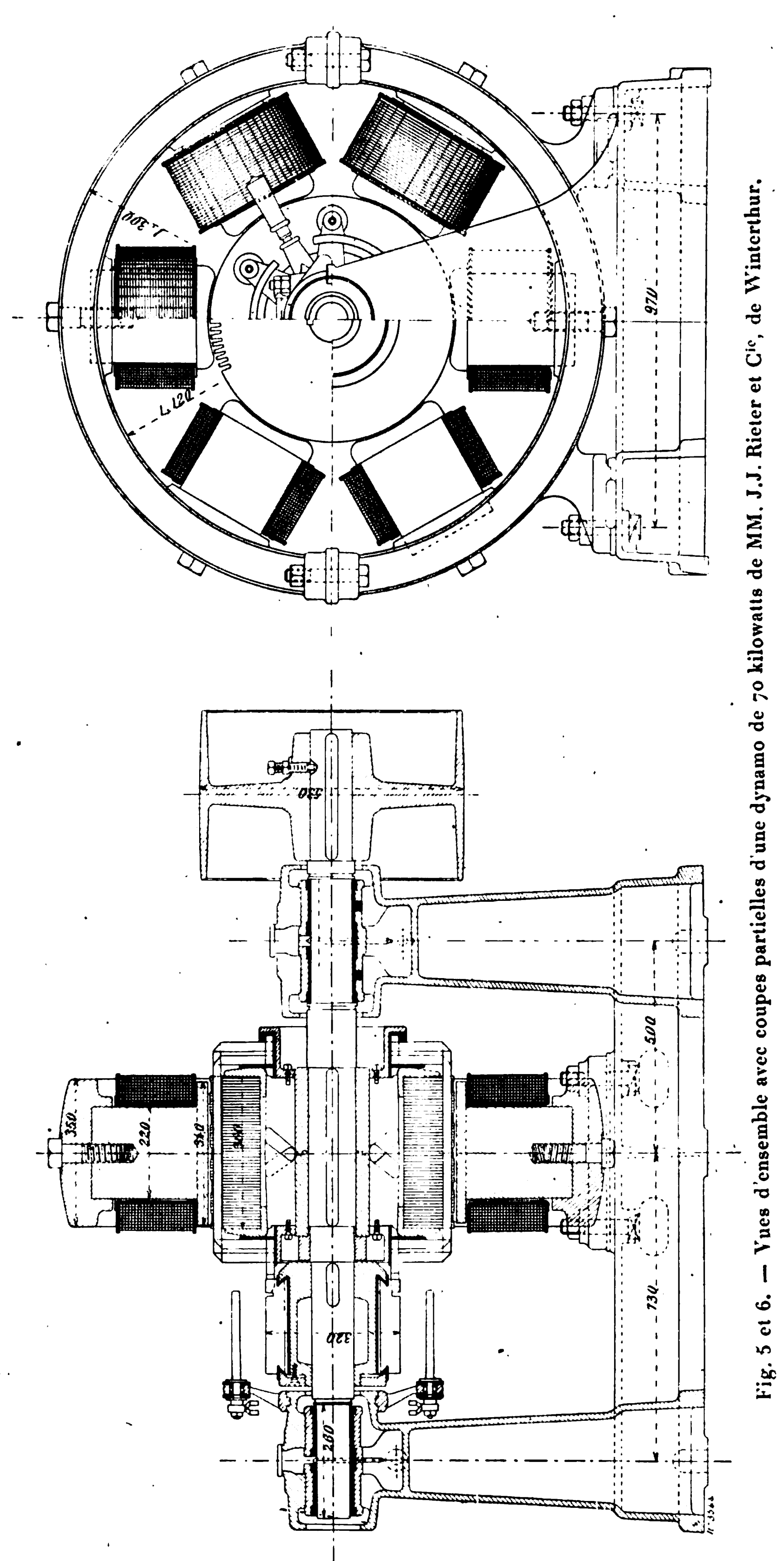


Fig. 5 et 6. — Vues d'ensemble avec coupes partielles d'une dynamo de 70 kilowatts de MM. J.J. Rieter et Cie, de Winterthur.

L'anneau induit porte 150 rainures, de 28 mm de profondeur et 6 mm de largeur, dans lesquelles est réparti l'enroulement induit en tambour multipolaire en quantité.

Chaque rainure comporte deux conducteurs de 25 mm de largeur et de 1,0 mm d'épaisseur.

Ces conducteurs sont pliés à leurs extrémités, à angle droit de façon à former des développantes de cercle qui sont ensuite connectées entre elles par de petites gouttières, ou aux lames du collecteur; on réduit ainsi considérablement le nombre des soudures.

L'enroulement induit comprend 150 sections de 2 conducteurs chacune aboutissant aux lames du collecteur.

Le collecteur est monté sur un manchon claveté sur l'arbre. Les lames au nombre de 150 sont isolées au mica et sont serrées entre elles par un anneau glissant sur une partie tournée du manchon et retenu par des vis.

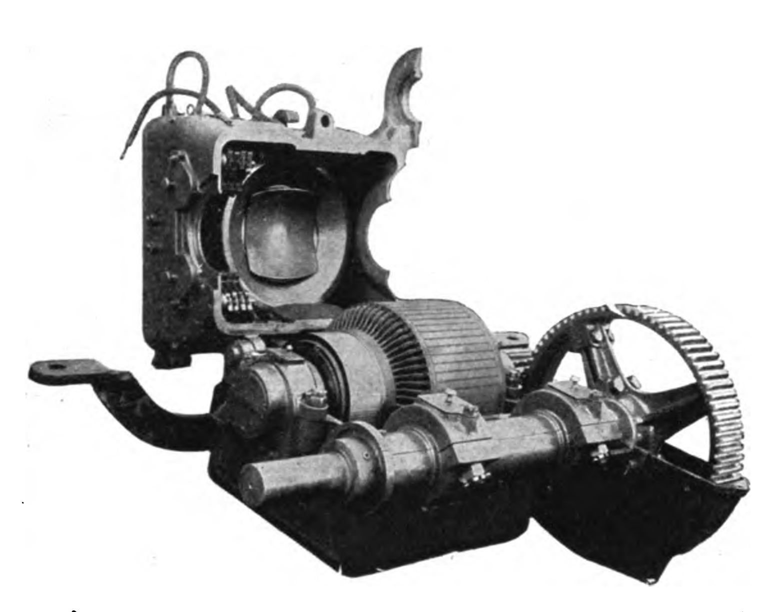


Fig. 7. — Moteur de tramways de 25 chevaux, de MM. J.J. Rieter et Cie.

Le diamètre extérieur du collecteur est de 32 cm et sa largeur utile de 19 cm.

Le courant est recueilli par 6 lignes de balais en charbon. Les axes portant les porte-balais sont montés sur un support tournant autour d'un anneau venu de fonte avec le palier, et fixés à l'aide d'une vis à poignée.

La résistance de l'induit entre balais est de 0,0035 ohm à chaud et le poids de cuivre employé de 90 kg.

Le poids de l'induit tout monté est de 870 kg. La machine est commandée par une poulie en porte à faux d'un diamètre de 63 cm et d'une largeur de 40 cm.

Deux anneaux en cuivre réunissent les balais de même polarité.

Moteur de tramway de 25 chevaux. — Les moteurs pour tramways de MM. J.-J. Rieter et Cie étaient représentés à l'Exposition par le type de 25 chevaux que montre la photographie de la figure 7.

Les figures 8 et 9 sont des vues d'ensemble avec coupes de ce moteur qui est établi pour une tension de 500 volts aux bornes et une vitesse normale en charge de 450 tours par minute.

Le moteur est à 4 pôles dont deux seulement portent les bobines inductrices.

La carcasse est en acier coulé et en deux parties réunies entre elles par deux charnières. La partie inférieure supporte les paliers venus de fonte.

Les deux pôles portant l'enroulement inducteur sont circulaires et sont creusés à l'intérieur de façon à venir s'emboîter sur une partie correspondante de la carcasse à laquelle ils sont fixés par des boulons.

Les pièces polaires venues avec les noyaux ont leurs rebords parallèles à l'axe légère-

ment recourbés et terminés par une arête vive de façon à diminuer la réaction d'induit.

Les deux pièces polaires des pôles non bobinés sont venues de fonte avec la carcasse.

Les dimensions extérieures de la carcasse sont de 60 cm dans le sens de l'axe, 66 cm dans le sens vertical et 65 cm dans le sens horizontal.

Le diamètre d'alésage des inducteurs est de 42,6 cm et l'entrefer de 3 mm.

Le diamètre des noyaux polaires est de 23 cm ; la longueur des pièces polaires est de 23 cm également et leur largeur dans le sens perpendiculaire à l'axe de 24,5 cm.

Les bobines inductrices sont enroulées sur des carcasses en bronze ; elles comprennent chacune 288 spires de fil de 4,4 mm de diamètre nu et 5 mm isolé.

Ces deux bobines montées en série ont une résistance à chaud de 0,08 ohm.

L'induit est supporté par une lanterne en bronze en deux parties serrées entre elles par un écrou vissé sur l'arbre. Les tôles serrées entre les deux bagues en bronze du support sont entraînées par des clavettes fixées sur celles-ci.

L'enroulement en anneau denté est logé dans des encoches à demi fermées dans lesquelles il est maintenu par des languettes en bois.

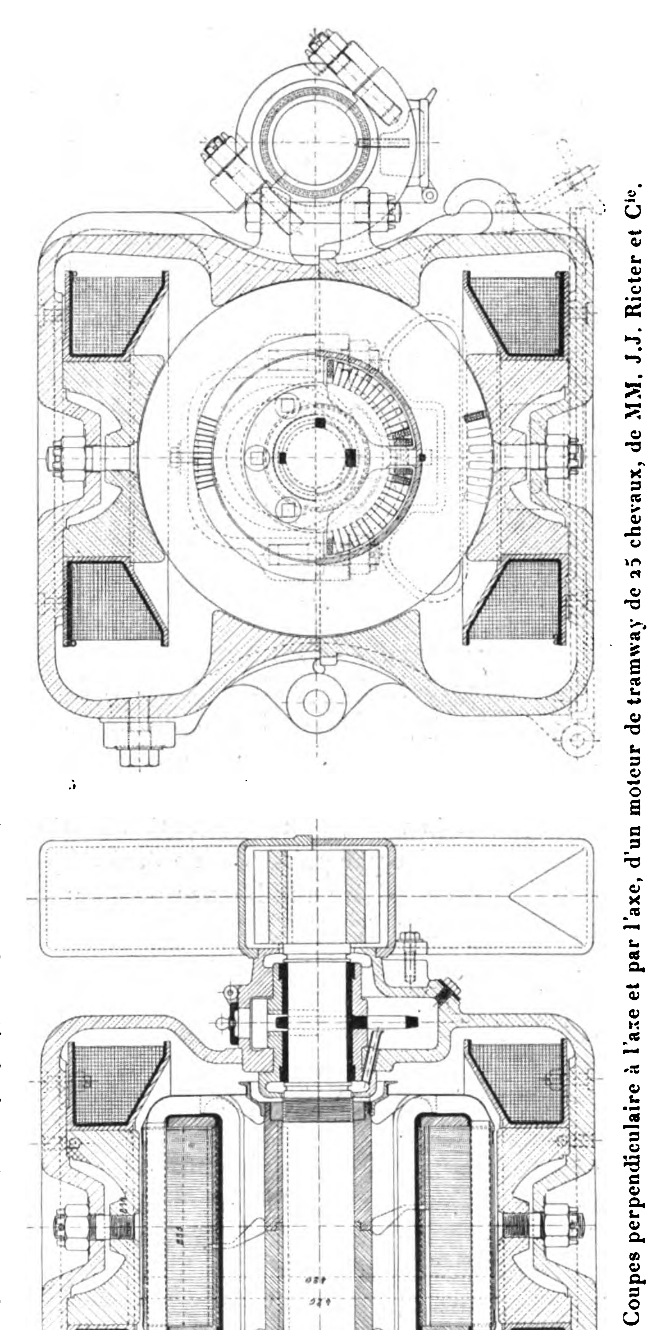
Le diamètre de l'induit est de 42 cm et la longueur totale des tôles de 23,5 cm. La hauteur radiale des tôles est de 8,5 cm.

Les rainures ont une hauteur radiale de 2,8 cm et une largeur de 9,5 cm, leur nombre est de 63.

Dans ces rainures sont réparties 63 sections de 12 spires chacune.

Le diamètre du fil est de 2,7 mm nu et 3,5 mm isolé.

L'enroulement est multipolaire série du type Arnold avec un nombre de lames au collecteur double de celui des sec-



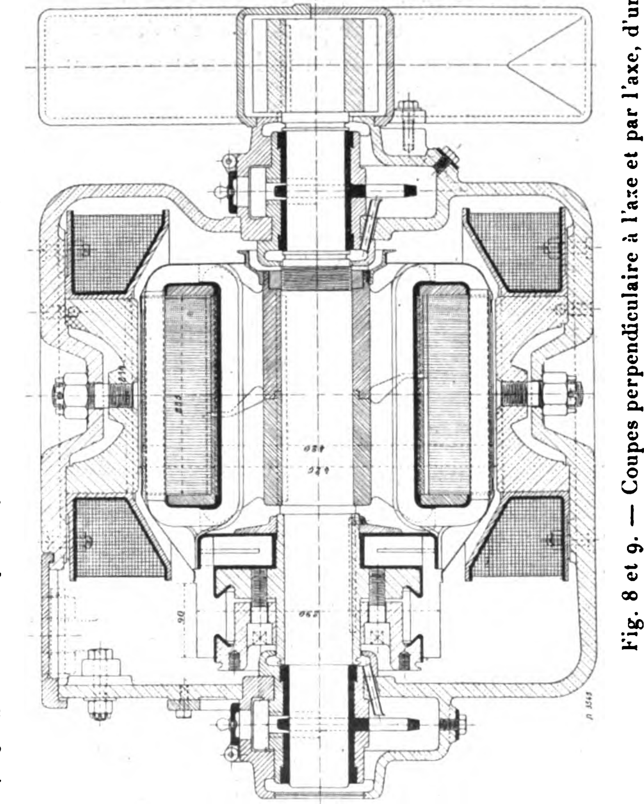


Fig. 8 et 9. — Coupes perpendiculaire à l'axe et par l'axe, d'un moteur de tramway de 25 chevaux, de MM. J.J. Rieter et Cie.

tions, lesquelles ont ainsi leurs extrémités et leurs sorties aboutissant chacune à une lame distincte.

Le collecteur est monté sur manchon claveté sur l'arbre et portant un système de développantes logées à l'arrière et réunissant 2 à 2 les lames diamétralement opposées.

Les lames, isolées au mica, sont serrées sur le support par une bague en acier maintenue par des vis après ce support.

Le diamètre du collecteur est de 29 cm et sa longueur utile de 9 cm.

Les deux lignes de balais, qui comportent chacune 4 balais en charbon, sont fixées à la partie supérieure de la carcasse.

L'arbre du moteur actionne par un pignon en acier d'un diamètre extérieur de 13,6 cm une roue dentée en fonte grise de 60,8 cm de diamètre extérieur et calée sur l'essieu.

Les nombres de dents du pignon et de la roue sont respectivement de 17 et 76, ce qui donne un rapport de vitesse 1/4,46.

Le moteur est supporté par l'essieu à l'aide de deux paliers venus de fonte avec la carcasse et par une suspension élastique le reliant au truck du tramvay.

II. — MATÉRIEL A COURANTS ALTERNATIFS

TRANSFORMATEURS. — Les transformateurs à courants alternatifs de MM. J.-J. Rieter et Cie étaient représentés par divers types WT à courants alternatifs simples de 1 à 4 kilowatts et par quelques types DT de 3 à 30 kilowatts. Nous donnerons la description de ce dernier type.

Ce transformateur est établi pour une tension primaire de 4 400 volts ; la tension par phase est de 2 540 volts, l'enroulement à haute tension étant groupé en étoile l'intensité du courant primaire par phase est de 3,95 ampères.

La tension secondaire aux bornes est de 190 volts, soit 110 volts par phase avec groupement des circuits en étoile. L'intensité du courant secondaire par phase est de 91 ampères.

La fréquence des courants est de 50 périodes par seconde.

Le transformateur de 30 kilowatts de MM. J. J. Rieter et Cie est représenté sur la photographie de la figure 1. Les figures 2, 3 et 4 sont des vues d'ensemble et coupes de cet appareil. Il est du type à noyaux.

Le circuit magnétique est constitué par trois colonnes verticales formées de paquets de tôles lamellées de différentes largeurs de façon à ce que la section totale inscrite dans un cercle fournisse une utilisation maxima. Ces trois noyaux sont serrés à l'aide de boulons et de plaques de serrage ; ils sont disposés sur un noyau horizontal et surmonté d'un noyau de même forme qui complète le circuit magnétique. Des boulons d'assemblage réunissent le socle et le chapeau.

Les deux noyaux horizontaux sont disposés dans des caisses en fonte formant, l'un le socle et l'autre, le chapeau de l'appareil.

La hauteur des noyaux verticaux est de 67 cm ; les 5 paquets de tôles qui les composent ont des largeurs respectives de 12,6, 15,6, 18,4, 15,6 et 12,6 cm et des épaisseurs de 1,5, 2,5, 7, 2,5, 1,5, ce qui donne une section totale par noyau de 244,6 cm².

Chacun des noyaux horizontaux a une hauteur de 15,5 cm et une largeur de 15,5 cm également, leur longueur est de 91 cm.

La hauteur totale du transformateur, y compris le piton d'enlevage, est de 122 cm, la longueur dans les deux sens est de 124 cm et de 52 cm.



L'enroulement primaire placé extérieurement est formé de bobines enroulées sur des carcasses isolantes. Chaque phase comprend 10 bobines superposées disposées en série.

Chaque bobine comporte 112 spires de fil de 2,8 mm de diamètre, soit 1120 spires par phase.

La résistance du circuit primaire par phase est de 0,80 ohm à chaud.

L'enroulement secondaire est formé par une bobine unique par phase enroulée sur une carcasse isolante et constituée par 490 spires d'un fil de 120 mm² de diamètre.

La résistance du circuit secondaire par phase est de 0,005 ohm à chaud.

Les extrémités des circuits à haute et basse tension traversent des ouvertures ménagées dans le chapeau et sont isolées de celui-ci par des tubes en porcelaine.

Le transformateur est enveloppé par une tôle perforée qui protège les enroulements contre les chocs extérieurs.

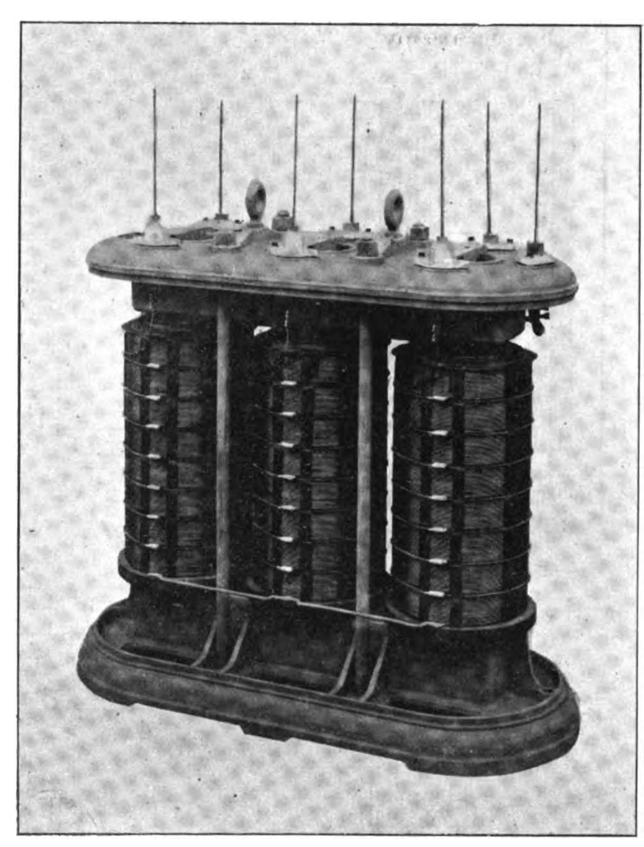


Fig. 1. — Transformateur à courants triphasés de 30 kilovolts-ampères de MM. J.J. Rieter et Cie, de Winterthur.

MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS. — Pour terminer notre étude sur le matériel électrique de MM. J.-J. Rieter et Cie, nous donnerons la description de deux des types des moteurs asynchrones triphasés désignés par la lettre D.

Les moteurs asynchrones triphasés de MM. J.-J. Rieter et Cie sont divisés en deux séries ; dans l'une, qui comprend les types de 0,18 cheval à 8 chevaux, les moteurs ont un induit en cage d'écureuil ; dans l'autre, celle des types de 10 à 300 chevaux, les induits permettent l'introduction de résistances variables pour le démarrage.

Dans les 2 séries, l'inducteur est fixe et l'induit mobile. Tous ces moteurs sont établis pour une tension simple de 110 volts, ce qui permet de les employer sur des réseaux de 110 volts ou 190 volts suivant le groupement des circuits inducteurs.

La photographie de la figure 5 représente un moteur de 200 chevaux à courants triphasés de MM. J.-J. Rieter et Cie. Les figures 6, 7 et 8 se rapportent à des petits moteurs ; le premier commande un arbre de transmission par l'intermédiaire d'un engrenage, le second un ventilateur et le troisième est destiné à actionner un métier à tisser.

Nous décrirons plus spécialement un des types de chaque série.

MOTEURS A INDUIT EN COURT-CIRCUIT. — Le moteur représenté sur les figures 9 et 10 est celui de 3 chevaux. La tension composée est de 190 volts, l'inducteur étant groupé en étoile,

Ce moteur est établi pour une fréquence de 50 périodes et son nombre de pôles est de 4 ; la vitesse correspondant au synchronisme serait donc de 1 500 tours.

L'inducteur est supporté par une caisse cylindrique en fonte portant intérieurement des

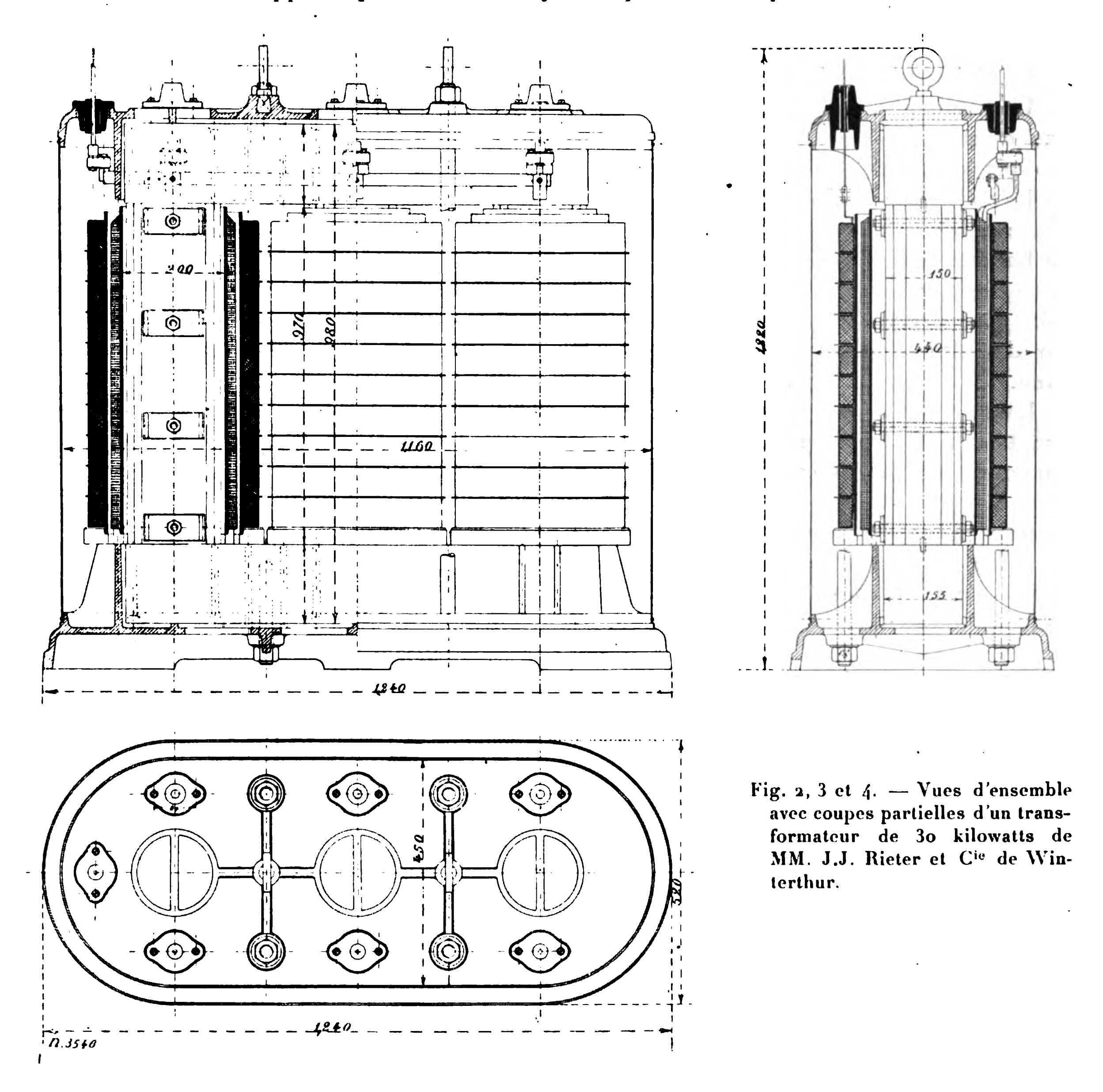


Fig. 2, 3 et 4. — Vues d'ensemble avec coupes partielles d'un transformateur de 30 kilowatts de MM. J.J. Rieter et Cie de Winterthur.

nervures sur lesquelles viennent s'appuyer les tôles. Celles-ci sont serrées entre deux anneaux retenus l'un, par une partie plus élevée des nervures et l'autre, par des petits coins en bronze. Deux flasques boulonnées sur la carcasse portent les paliers à bagues et des oreilles pour la fixation du moteur.

Le diamètre extérieur de la carcasse est de 35 cm et sa largeur de 20 cm. Le noyau inducteur a un diamètre d'alésage de 15 cm et une hauteur radiale de 8 cm ; la largeur du fer de l'inducteur est de 10 cm.

La surface intérieure du noyau inducteur porte 36 encoches fermées dans lesquelles

sont disposés les enroulements inducteurs formés de deux bobines par phase. Chaque bobine complète est répartie dans 6 rainures et les deux bobines de chaque phase sont montées en série.

Le nombre de spires de chaque bobine est de 75, 25 par bobine élémentaire, soit 25 conducteurs par rainure. Le diamètre du fil inducteur est de 2,2 mm.

La résistance calculée de l'inducteur par phase est de 0,68 ohm à chaud.

L'induit se compose d'un noyau de tôles laminées claveté sur l'arbre et serré entre

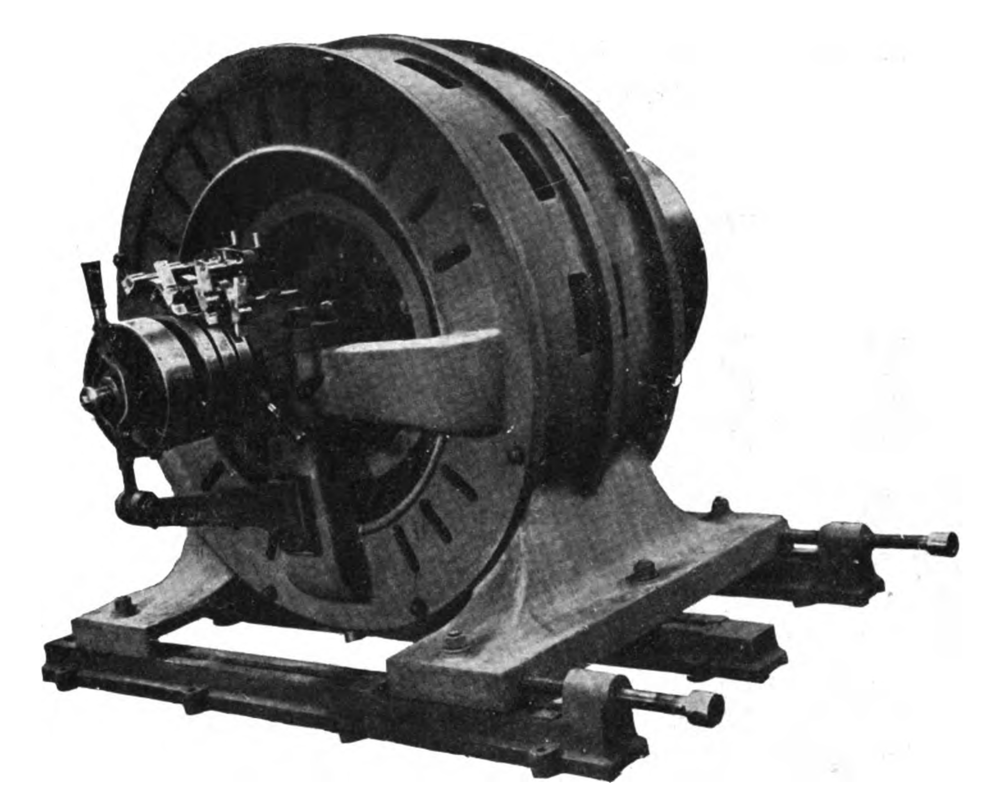


Fig. 5. — Moteur asynchrone à courants triphasés de 200 chevaux, de MM. J.J. Rieter et Cie de Winterthur.

deux disques en fonte à l'aide d'un petit anneau logé dans une gorge rectangulaire de l'arbre.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 14,9 cm et l'entrefer de 0,5 mm.

La hauteur radiale des tôles est de 5,7 cm. Elles sont percées de 29 trous circulaires dans lesquels sont logés des conducteurs ronds de 8 mm de diamètre réunis entre eux à leurs deux extrémités par deux bagues en cuivre de 4,5 cm de largeur et de 4 mm d'épaisseur.

L'intensité du courant dans l'inducteur à pleine charge de 3 chevaux est de 9,85 ampères par phase et le facteur de puissance de 0,81.

Le glissement de cette charge est de 6,2 p. 100, ce qui correspond à une vitesse angulaire normale de 1 420 tours par minute environ.

Le rendement à pleine charge est de 84 p. 100.

Moteurs a induit a bagues. — Le moteur à induit avec résistances variables, dont les figures 11 et 12 sont des photographies et les figures 13 et 14 des vues d'ensemble avec



coupes, est d'une puissance de 12 chevaux. Il est à 6 pôles, ce qui, avec des courants d'alimentation d'une fréquence de 50 périodes par seconde, correspondrait au synchronisme à une vitesse angulaire de 1 000 tours par minute.

Ce moteur est d'une construction analogue au précédent, nous nous contenterons donc d'en donner les dimensions principales.

Le diamètre extérieur de la carcasse inductrice en fonte est de 54 cm et sa largeur de 27 cm, non compris les flasques portant les paliers.

Le diamètre d'alésage des tôles est de 30 cm et l'entrefer de 0,5 mm.

La hauteur radiale des tôles atteint 10 cm et la largeur de l'inducteur 14 cm.

L'enroulement est réparti dans 72 encoches, soit 4 par pôles et par phase.

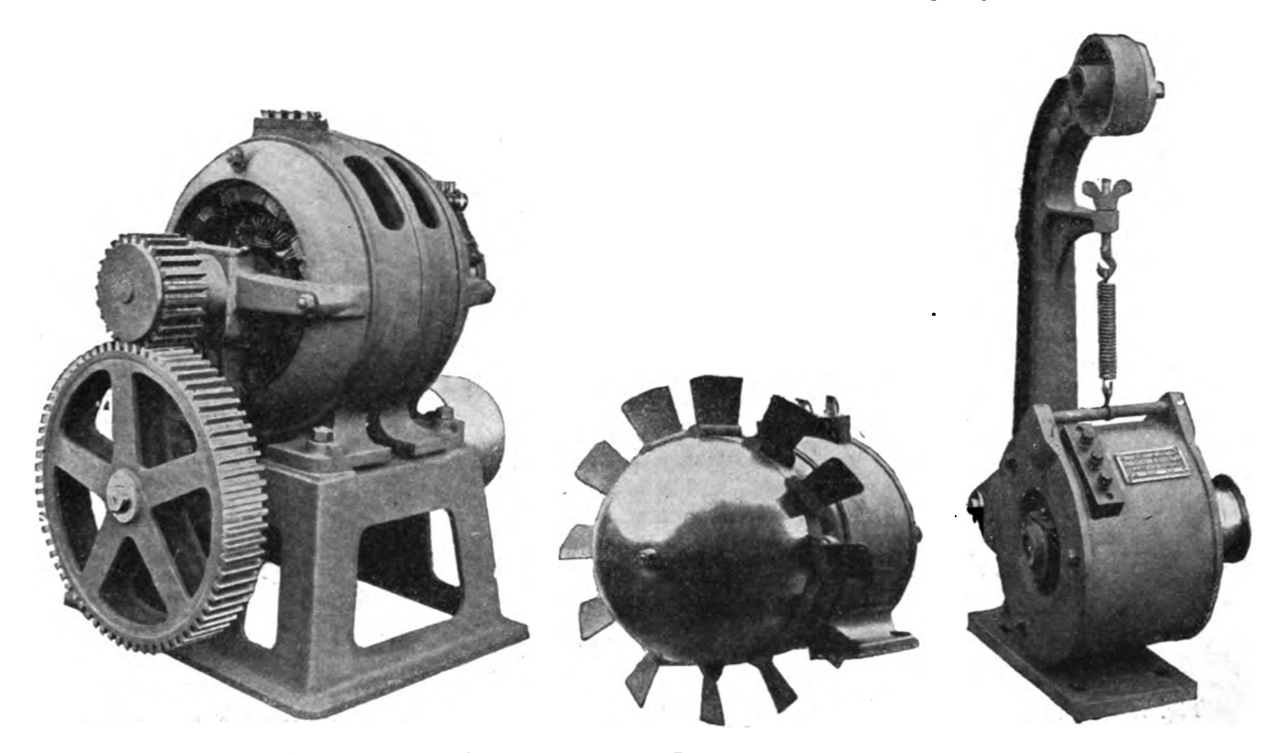


Fig. 6, 7 et 8. — Petits moteurs asynchrones de MM. J.J. Rieter et Cie, pour renvoi, commande de ventilateurs et de métiers à tisser.

Chaque phase comporte 3 bobines montées en série et enroulées chacune dans 8 encoches fermées. Chaque encoche comprend 7 conducteurs de 4,2 mm de diamètre, ce qui correspond à 28 spires par bobine complète.

Le groupement des trois phases est en étoile pour une tension d'alimentation aux bornes de 190 volts.

La résistance calculée à froid par phase est de 0,10 ohm.

L'induit a un diamètre extérieur de 29,9 cm, une hauteur radiale de 00 cm et une largeur de 30 cm.

Les encoches complètement fermées sont au nombre de 54, soit 3 par pôle et par phase. L'enroulement inducteur en tambour comprend 3 bobines par phase enroulées chacune dans 6 encoches. Le nombre de spires par bobine est de 15 et celui de conducteurs par rainure de 5; le diamètre du fil de l'induit est de 5 mm.



La résistance calculée de l'induit par phase est de 0,03 ohm à chaud ; les trois phases sont groupées en triangle.

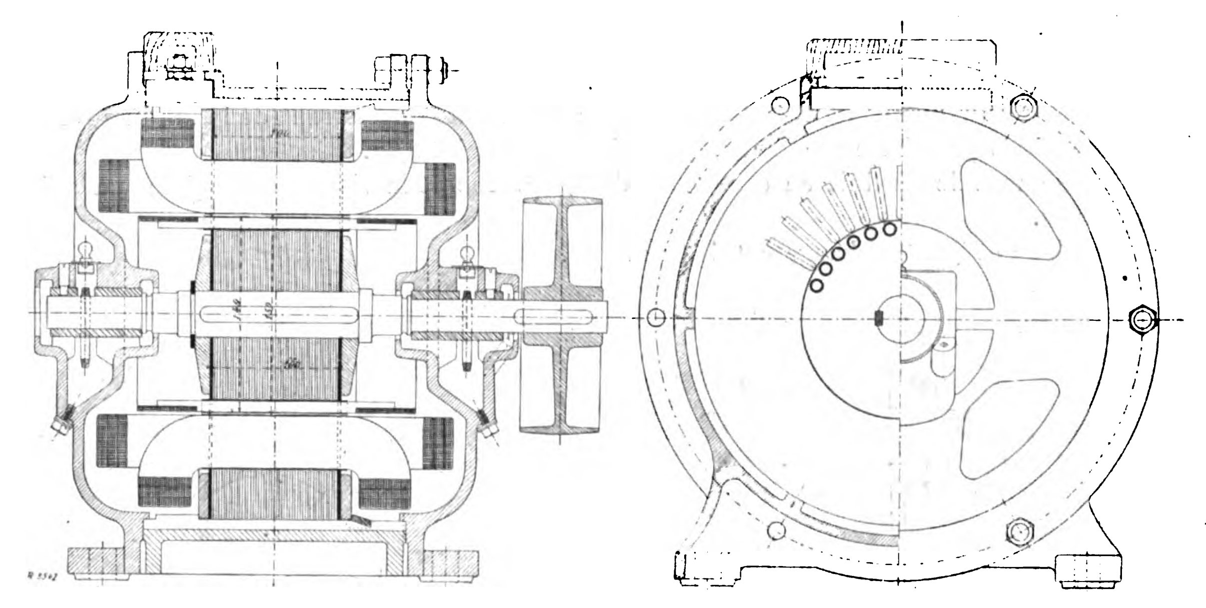


Fig. 9 et 10. — Vues d'ensemble et coupes d'un moteur asynchrone de 3 chevaux à induit en court-circuit de MM. J.J. Rieter et Cie.

Les parties extérieures de l'enroulement induit sont maintenues par des goujons isolés,

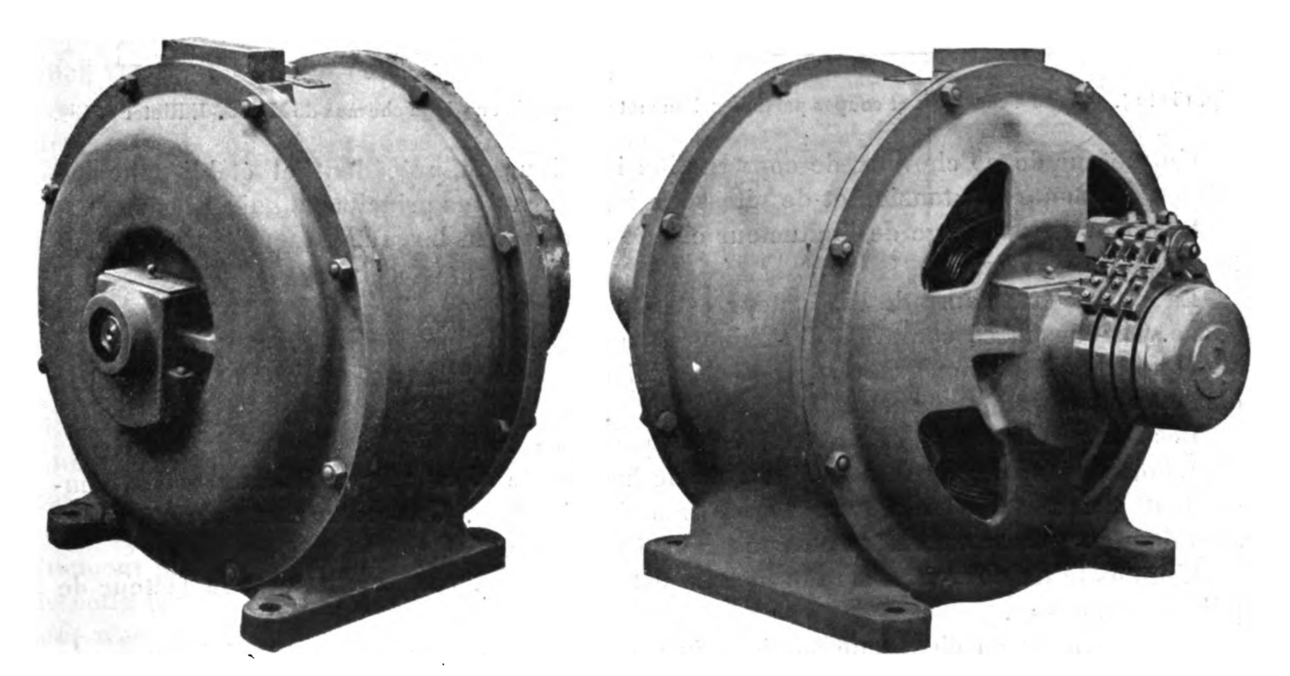


Fig. 11 et 12. — Moteur asynchrone de 12 chevaux à induit à bagues de MM. J.J. Rieter et Cie de Winterthur.

vissés dans les disques de serrage des tôles, de façon à empêcher l'action de la force centrifuge.

Les points d'entrée du circuit induit aboutissent, par des conducteurs logés dans l'arbre creusé à cet effet, à trois bagues de frottement en bronze montées sur l'arbre et en porte-à-faux. Ces bagues ont un diamètre de 18 cm et une largeur de 2,5 cm.

Les balais frottant sur ces bagues sont supportés par un axe serré dans une oreille fixée sur l'une des flasques portant les paliers.

A charge normale de 12 chevaux à la poulie l'intensité du courant dans l'inducteur est de 35,4 ampères par phase ; le facteur de puissance atteint 0,87.

Le glissement de l'induit en charge est de 3,5 p. 100 et la vitesse de régime par suite de 970 tours.

Le rendement à cette charge est de 87 p. 100.

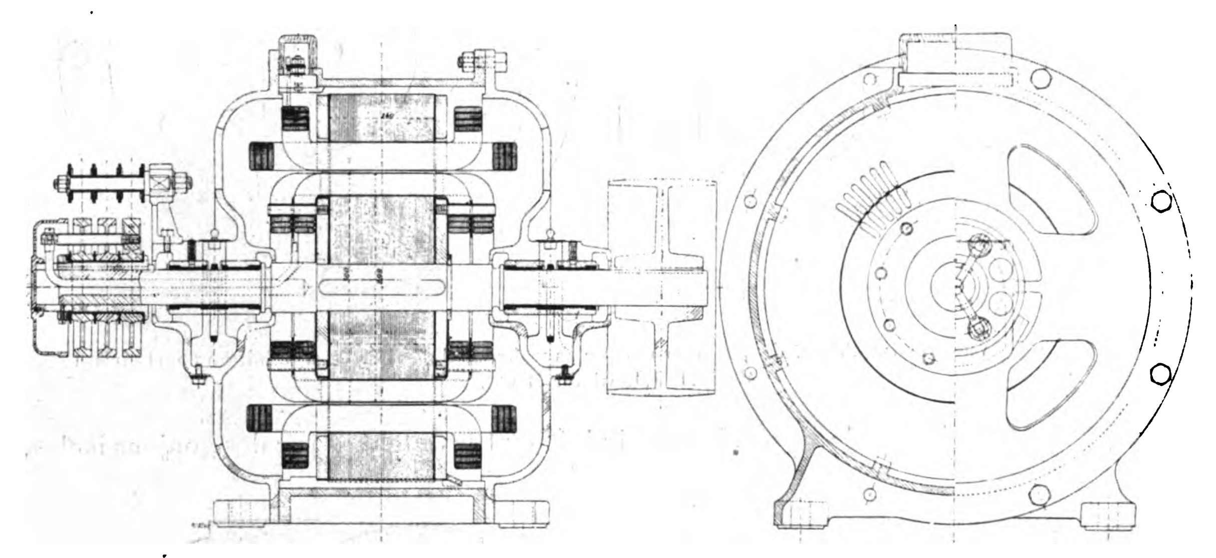


Fig. 13 et 14. — Vues d'ensemble et coupes partielles d'un moteur asynchrone de 12 chevaux de MM. J.-J. Rieter et Cie.

Un moteur de 20 chevaux de construction identique au précédent et établi pour les mêmes constantes de tension et de vitesse, a les dimensions principales suivantes :

Le diamètre d'alésage de l'inducteur est de 38 cm et la largeur du fer de 15 cm, l'entrefer est de 0,75 mm.

La surface intérieure de l'inducteur est percée de 72 encoches, soit 4 par pôle et par phase. Chaque phase comprend 3 bobines enroulées dans 8 encoches chacune, le nombre de conducteurs par encoche est de 5 et celui de spires par bobine complète de 20. Le diamètre du fil inducteur est de 5,6 mm.

Les 3 bobines de chaque phase sont groupées en série.

L'induit a un diamètre de 37,85 cm et une largeur de 15 cm ; il porte 54 encoches comprenant chacune 5 conducteurs de 5,8 mm de diamètre. Ces conducteurs constituent 3 bobines par phase enroulées chacune dans 6 encoches.

L'intensité du courant dans l'inducteur est de 57 ampères par phase et le facteur de puissance de 0,89.

Le glissement en charge de 20 chevaux est de 2,5 p. 100, la vitesse angulaire normale de 960 tours par minute.

Le rendement est de 88 p. 100.

J. Reyval.



COMPTEURS A TARIF VARIABLE

Dans le but de provoquer la consommation d'énergie électrique pendant les périodes où elle est le plus faible, certaines stations d'électricité ont abaissé le tarif de vente pour l'énergie spécialement employée à la force motrice ou au chauffage par exemple. Mais cet emploi de l'électricité qui semble ou réservé aux heures pendant lesquelles l'éclairage électrique absorbe peu, ou encore réparti uniformément sur les différentes périodes de la journée, peut provoquer un accroissement fâcheux de la consommation pendant les heures les plus chargées. Il est donc plus rationnel de maintenir le tarif habituel pendant la période de forte charge et d'abaisser au contraire ce tarif le reste du temps et cela quel que soit l'usage qui peut être fait de l'électricité consommée (1). C'est pour répondre à ce système de tarification qu'ont été établis les compteurs dits à tarif variable et dont plusieurs exemples ont été déjà décrits dans ce journal (2).

Lorsqu'on emploie le dispositif de G. Rasch de Carlsruhe (3), les bobines d'intensité AA (fig. 1) doivent être toutes insérées sur le même conducteur principal; les bobines de tension VV au lieu d'être branchées directement sur les deux pôles, comme cela a lieu habituellement, sont seulement reliées au même conducteur que ci-dessus, tandis que leur autre extrémité est connectée à un conducteur spécial *ss* qui va à la station centrale et communique alors avec le deuxième conducteur principal par l'intermédiaire d'une résistance variable W. Le soir, cette résistance W est en court-circuit; la tension aux bornes des bobines d'induit est alors celle-même du réseau, le compteur indique la consommation exacte. Pendant la journée, ou aux heures de nuit, la résistance W est insérée et abaisse la tension aux extrémités des bobines VV : l'indication donnée par le compteur est abaissée proportionnellement à cette diminution de tension.

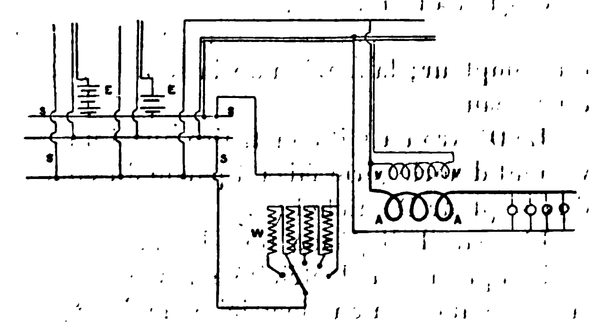


Fig. 1. — Dispositif Rasch, pour compteur à tarif variable.

Pour éviter la perte de tension dans le réseau auxiliaire, il est bon de donner au conducteur une section suffisante, 2 mm² suffisent, car la consommation dans un bon compteur ne dépasse généralement pas $\frac{1}{60}$ ampère.

Ce système a l'inconvénient que le consommateur ne sait pas quelle est la tension envoyée dans le réseau auxiliaire et par suite quel tarif lui est appliqué. Cette tension pourrait même être supérieure à celle du réseau principal au lieu de consommation, ce qui élèverait le tarif au delà de sa valeur maxima. A ce point de vue, le dispositif du compteur Aron est préférable car la tension du réseau auxiliaire y est remplacée automatiquement par celle du réseau principal lorsque celle-ci devient inférieure à la précédente ; de cette façon, la tension la plus élevée qui puisse exister aux bornes de l'induit du compteur n'est jamais supérieure à celle du réseau de consommation.

(1) Voir à propos de la tarification de l'électricité G. Pellissier, t. XII, p. 537. — Brown et Routin, t. XIII, p. 157 et t. XIV, p. 93.

(2) Armagnat, t. XXV, p. 186.

(3) *Elektrotechnische Rundschau*, t. XVI, p. 118.

Le système Aron consiste dans l'emploi d'une source d'électricité auxiliaire *m* disposée à côté de la génératrice M (fig. 2); cette source sert à changer la tension au compteur de manière à appliquer les différents tarifs. Le conducteur 1 de la machine auxiliaire *m* est relié à la borne K du compteur avec l'un des fils dérivés du courant principal. Delà le conducteur 1 se rend à l'enroulement du pendule *p* tandis que le conducteur 2 traverse l'électro-aimant E et revient à la dynamo auxiliaire *m*. Un levier H porte à une de ses extrémités une pièce de contact *l* mobile entre les deux contacts *k* et k_1 et à l'autre extrémité une armature commandée par l'électro E. Le contact de *l* avec *k* est assuré par le ressort *f*.

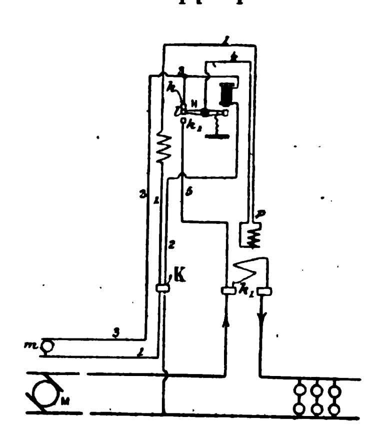


Fig. 2. — Dispositif Aron pour compteur à tarif variable.

En tarif normal, le courant revient du pendule *p* par le conducteur 4 au contact *k* et de là par le conducteur 3 à la source auxiliaire. Si au contraire la tension du réseau auxiliaire est trop élevée, l'électro E attire son armature, et la pièce *l* vient en contact avec k_1, de sorte que le courant va de la borne K par le conducteur 1 au pendule *p* et par le conducteur 4, le levier H, le contact k_1 et le conducteur 5 à la borne K_1 du compteur; la tension de la source auxiliaire est ainsi remplacée par la tension actuelle du réseau.

Le Dr Aron a fait construire aussi un compteur à tarif mobile (1) commandé par un mouvement d'horlogerie faisant partie du compteur; le principe est à peu de chose près celui du compteur Demichel (2).

L'appareil dispense de fil auxiliaire et grâce au mouvement d'horlogerie, distribue périodiquement l'électricité à des taux différents; il enregistre séparément sur deux cadrans la consommation en électricité de jour et électricité de nuit, pour permettre ensuite de totaliser la dépense. Le mouvement d'horlogerie actionne des roues munies de manchons portant une entaille à paroi inclinée; grâce à celle-ci les roues se dégagent des doigts qui ont pénétré dans l'entaille, se déplacent parallèlement à leur axe et viennent comprimer des ressorts qui produisent les transformations mécaniques voulues.

Un indicateur permet de savoir quel est le tarif en vigueur. Ce système peut être employé pour introduire différents trains d'engrenage dans le mécanisme du compteur, pour produire un contact, pour introduire des résistances dans le circuit ou les supprimer.

Il faut naturellement autant de mécanismes de changement qu'il y a de périodes à tarifs différents.

On peut placer dans la même catégorie, le compteur de l'Union Elektrizitæts Gesellschaft, de Berlin (3).

Il comprend deux rouages à cadran indicateur actionnés par un compteur moteur. L'un des mouvements est toujours relié au moteur, tandis que l'autre n'entre en action qu'aux moments où est appliquée la taxe spéciale; sur un des cadrans est donc indiquée la quantité totale d'énergie consommée et sur le second, la quantité à tarif spécial.

L'induit du compteur *m* est en dérivation sur les conducteurs aa_1 (fig. 3) et les électros sont en série avec *a*. Le moteur commande les deux mouvements *d* et d_1 de la manière sui-

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XVI, p. 34.

(2) Brevet français, n° 288872, 10 mai 1899.

(3) Brevet allemand, n° 99021.

vante ; l'axe b du moteur porte une vis sans fin w qui engrène avec la roue dentée w_1 (fig. 4) calée sur l'axe w_2 du totalisateur d (celui qui marque l'énergie totale consommée). L'arbre du second totaliseur d_1 est prolongé en b_1 et se termine par la roue dentée t_1 qui entraîne la roue t dont l'arbre est dans le prolongement même de w_2. L'accouplement de ces deux arbres t et w_2 se fait par un embrayage à griffes constitué par les leviers n mobiles autour d'un bras n_1 fixé à l'arbre t, les extrémités de ces leviers viennent s'engager dans la roue dentée v calée à l'extrémité de l'arbre w_2.

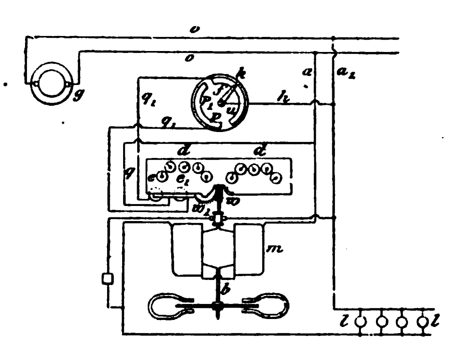


Fig. 3. — Compteur à tarif variable de l'Union Elektrizitäts Gesellschaft.

Le couplage est produit par les électro-aimants ee_1. Les tiges n sont commandées par le levier j, solidaire de l'armature des électros et muni à son extrémité d'un anneau r dans lequel les tiges n peuvent tourner librement. Les électros sont alimentés par le conducteur q et par les conducteurs q_1 reliés aux contacts p et p_1 sur le cadran d'une horloge k. L'axe de l'aiguille f est relié à la ligne par le conducteur h. Les contacts p et p_1 sont isolés l'un de l'autre et l'aiguille f glisse à leur surface produisant ainsi la liaison de l'un d'eux avec la ligne. Quand l'aiguille est sur le contact p, l'électro e_1 est excité et attire son armature, débrayant ainsi les bras n et la roue v. Les bras n sont maintenus en prise avec la boîte t_3 de l'arbre t par le ressort s. Le mécanisme d_1 est au repos jusqu'à ce que l'aiguille f atteigne le contact p_1, l'électro e est alors excité et d_1 remis en marche par le couplage de t et de w_2.

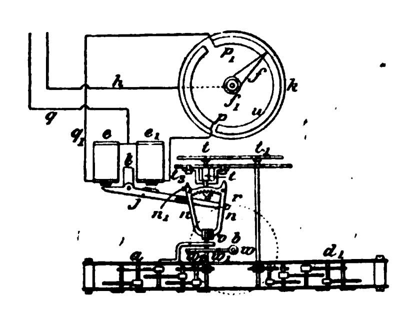


Fig. 4. — Compteur de l'U. E. G.

L'électro-aimant agissant est maintenu en circuit pour assurer le fonctionnement de l'appareil.

Dans leur brevet, MM. Loubery, François et Kunkelmann (1) ont passé en revue quelques dispositions simples qui permettent de réaliser la tarification mobile avec les compteurs à tarification fixe. Elles consistent à agir à distance pour faire varier la vitesse du compteur, en se servant d'une horloge-mère placée à la station centrale ou en un point déterminé du réseau et susceptible d'envoyer pendant un temps déterminé un courant électrique dans un électro ou dans des bobines adjointes à chaque compteur. L'action peut être produite sur l'amortissement du compteur, sur le système qui mesure la tension ou sur celui qui mesure l'intensité.

Lorsque l'on agit sur l'amortissement, dans le cas par exemple d'un compteur rotatif dont l'axe porte un disque métallique tournant entre les mâchoires d'un aimant permanent, on dispose un électro auxiliaire entre les armatures duquel tourne aussi le disque amortisseur, cet électro est actionné par l'horloge-mère et produit un frein dont l'action est proportionnel au courant qui le traverse. Si le compteur ne possède pas de disque amortisseur, il suffit d'en disposer un sur l'axe du moteur.

Dans le cas où l'on n'a à appliquer que deux tarifs, on peut mettre l'électro auxiliaire n en dérivation sur les fils de ligne; l'horloge-mère actionne alors simplement un électro (fig. 2) qui commande l'interrupteur du circuit du premier électro. Comme il ne s'agit alors que d'une commande à distance, on peut aussi bien employer une commande pneumatique.

(1) Brevet français, n° 286616, 7 mars 1899.

Si l'on veut agir sur la tension, on munit ce système d'une deuxième bobine qui ajoute son action à celle de l'appareil et qui est alimentée par la ligne de l'horloge-mère. Ainsi dans le cas d'un compteur Aron par exemple, on place concentriquement à la bobine de fil fin une deuxième bobine fixée comme la précédente sur le balancier, mais alimentée par le courant spécial de l'horloge-mère.

Pour agir sur les bobines d'intensité, l'horloge-mère alimentera un électro de manière à shunter les bobines de gros fil, le compteur n'est plus alors traversé que par une fraction du courant principal.

On peut agir encore sur la tension en introduisant en série ou en dérivation sur la bobine de fil fin un rhéostat à résistance variable. Un électro à chaque impulsion de l'horloge-mère attire son armature et fait avancer d'une dent une roue à rochet solidaire d'un disque à secteurs qui introduit ainsi les résistances.

Il est évident que l'on peut dans les dispositifs précédents alimenter l'électro auxiliaire par le courant de ligne, et l'horloge commandera simplement alors un commutateur.

G. Goisot.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

ACCUMULATEURS

Accumulateur Joseph Skwirsky. Brevet allemand 115 336, du 16 novembre 1898. *Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde*, t. II, p. 10, 1er janvier 1901.

L'élément est constitué par des électrodes de forme cylindrique empâtées de matière active uniquement sur la face intérieure.

De telles électrodes de diamètre de plus en plus grand sont introduites dans un récipient également cylindrique, en plomb, garni intérieurement de matière active.

L'emploi d'électrodes cylindriques n'est pas nouveau, mais celles-ci étaient empâtées des deux côtés et il en résultait que la matière active, foisonnant sous l'influence de la charge, s'écaillait et se détachait du support. Dans le brevet allemand 28 742, les électrodes sont coniques et on dispose entre chaque une substance isolante comme le sable, la silice, le verre, etc. qui comprime fortement la matière ; mais on augmente ainsi inutilement le poids.

La disposition avec électrodes cylindriques empâtées seulement intérieurement présente les avantages suivants :

1° La matière est très bien retenue dans son support ; car, plus elle tend à foisonner par la charge, plus elle se comprime et moins sa chute est à craindre ;

2° Les réactions chimiques sont favorisées, car la matière active est en contact intime avec le plomb métallique du support.

3° Le montage est très facile.

La figure 1 ci-contre donne une coupe longitudinale par le milieu de l'élément, la figure 2 est une vue en plan, 3 montre les crochets formés sur le côté intérieur des cylindres, et destinés à retenir la matière ; les figures 4 et 5 représentent un peigne isolant pour la séparation des électrodes.

L'accumulateur comprend une électrode centrale A autour de laquelle sont disposés les cylindres C, D, E, F. Ceux-ci sont munis de perforations obtenues mécaniquement à l'aide d'un instrument pointu et de façon à former intérieurement des barbes, dents ou crochets qui retiennent solidement la matière active empâtée.

Les peignes isolants sont en bois ou en verre paraffiné. Le récipient B est constitué comme les électrodes C, D, E, F.

La forme cylindrique donne aux électrodes comme au récipient, une grande solidité et permet l'emploi de supports très minces ; les inéga-



lités d'action chimique sur les deux faces

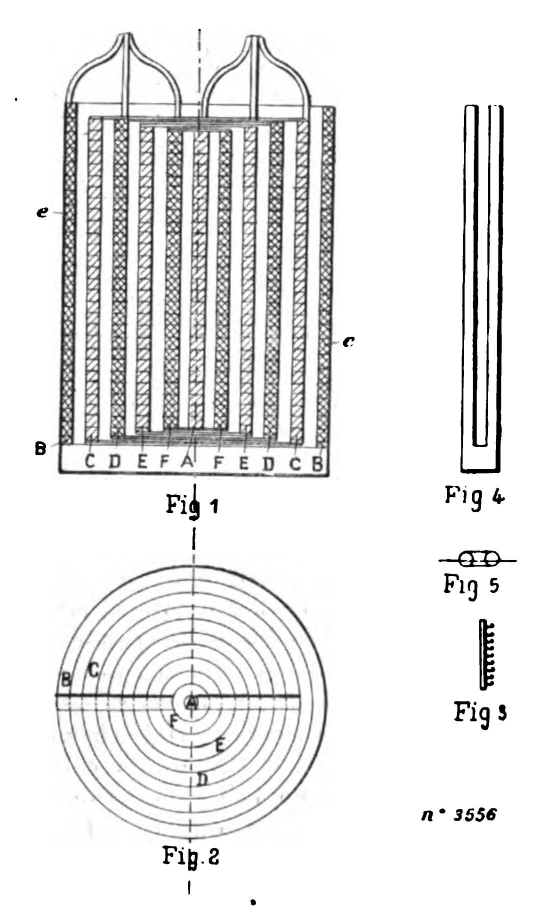


Fig. 1 à 5. — Accumulateur Skwirsky.

n'existant pas ici, il ne peut pas y avoir de déformation. L. J.

Accumulateur Paul Emile Placet. Brevet américain n° 668 356 du 14 novembre 1899. *Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde*. t. II, p. 113, 1er avril 1901.

La plaque de cet élément est constituée de la façon suivante : comme support *a* (fig. 1 et 2), on emploie un tissu (feutre, toile, canevas, crin), enduit de matière inattaquable à l'acide (paraffine, bitume, solution de caoutchouc, silicate, etc). Autour de ce support est enroulé un fil conducteur *b* en forme de spirale, recouvert lui-même par la pastille *c* de matière active. Celle-ci est constituée par un mélange d'un ou de plusieurs oxydes de plomb avec de la glycérine. Le séchage à l'air s'effectue en deux heures. On l'accélère en plaçant l'électrode entre deux plaques métalliques chauffées. Pour donner plus de porosité à la matière active, on peut ajouter une substance qui se volatilise au séchage (comme le camphre et la naphtaline) ou qui se dissout dans la suite

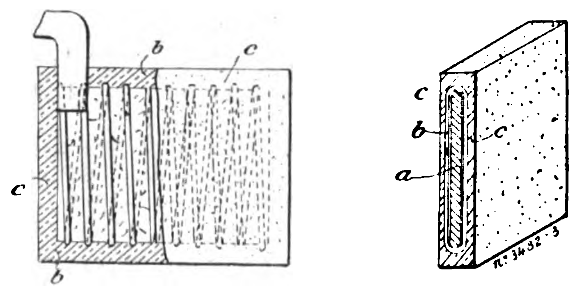


Fig. 1 et 2. — Accumulateur Placet.

(comme l'amidon ou la magnésie). Les deux électrodes positive et négative sont constituées de la même façon. L. J.

Elément secondaire Leslie W. Collins. — Brevet américain 669064 du 7 juin 1899, renouvelé le 28 janvier 1901. — *Centralblatt für Accumulatoren-und Elementenkunde*, t. II, p. 126, 15 avril 1901

L'inventeur veut fabriquer rapidement et à bon marché les parties de la grille et les assembler ensuite solidement et intimement.

Le cadre A de la grille se compose de deux

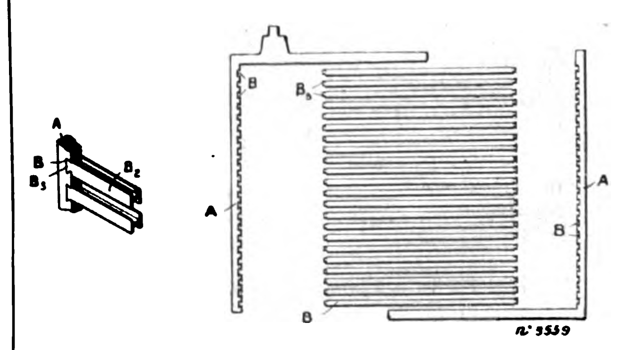


Fig. 1 et 2. — Elément secondaire W. Collins.

parties dont une porte la queue. Dans les entailles B de ce cadre s'appliquent les tenons B_3 des extrémités des baguettes B_2 qui, après l'introduction, sont fondus ou soudés. Ces différentes parties peuvent être estampées. La section des baguettes est, comme le montre la vue en perspective de la figure 1, en forme de double T. La matière active est introduite dans les intervalles de deux baguettes voisines.

Les plaques à grille avec ouvertures carrées

n'offrent aucune élasticité pour compenser la dilatation et la contraction de la matière active et il se produit une sulfatation entre celle-ci et le support. Au contraire les longues baguettes qui existent ici se prêtent aux variations de volume de la matière qui reste en contact intime avec elles, de telle sorte que la chute et la sulfatation sont rendues impossibles. L. J.

Elément secondaire, Henry C. Porter. — Brevet américain n° 669486 du 27 décembre 1898. *Centralblatt für Accumulatoren-und Elementenkunde*, t, II, p. 152, 15 mai 1901.

C. Porter place entre les deux électrodes A et B (figure 1, en élévation) une pièce isolante D. Celle-ci consiste en trois baguettes verticales HH_2 (fig. 3, coupe horizontale) qui portent des entailles dans lesquelles sont fixées les traverses

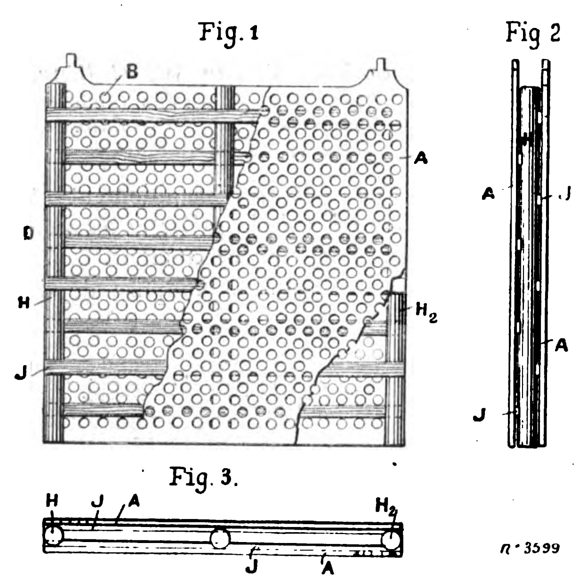


Fig. 1 à 3. — Elément secondaire Porter.

horizontales J (fig. 2, coupe verticale). Ces traverses sont disposées alternativement sur les deux côtés des baguettes. On obtient ainsi un séparateur très rigide, très isolant. De plus, le déplacement des traverses offre un canal vertical au passage des gaz qui peuvent ainsi se dégager facilement et rapidement. L. J.

Plaque d'accumulateur, Henry C. Porter. — Brevet américain 669 487 du 5 février 1900. *Centralblatt für accumulatoren-und Elementekunde*, t. II, p 125, 15 avril 1901.

H.-C. Porter veut exposer à l'action électrolytique une surface aussi grande que possible de matière active, sans pour cela diminuer la solidité du quadrillage. Celui-ci est coulé d'une seule pièce et comprend un cadre A (fig. 1, coupe verti-

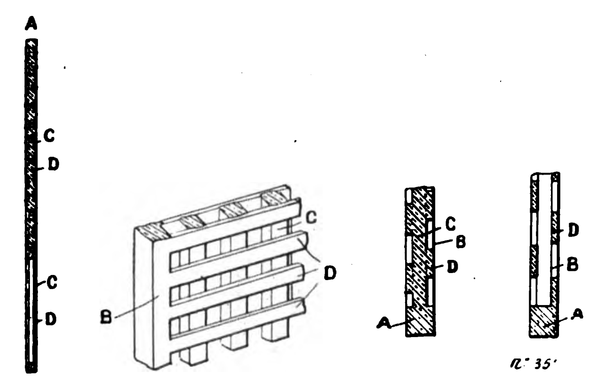


Fig. 1 à 4. — Plaque d'accumulateur H. C. Porter.

cale) B (fig. 2, vue en perspective), puis des nervures verticales C et des nervures horizontales D. Ces dernières sont deux fois moins épaisses que les verticales qui sont situées au milieu de la plaque ; elles doivent protéger la plaque contre les déformations de côté. Les nervures D de chaque côté de la plaque peuvent être alternées comme le montre la figure 4 ou encore se couvrir par moitié ainsi que l'indique la figure 3. La plaque ainsi constituée est empâtée de matière active. L. J.

Plaque d'accumulateur Harry M. N. Muhle. Brevet américain, n° 668295, du 22 octobre 1900. *Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde*, t. II, p. 111, 1er avril 1901.

La soudure employée jusqu'ici des plaques de même polarité avec la barrette de connexion a comme inconvénient d'introduire une résistance de contact, cause d'une perte d'énergie. De plus, une rupture aux points de jonction peut se produire brusquement sans être remarquée ; d'autant mieux que ces points se sulfatent et se corrodent facilement, car ils s'oxydent par la soudure ou la fusion et sont soumis ensuite à l'action électrolytique de l'acide sulfurique.

Pour éviter ces inconvénients, l'inventeur coule, estampe ou découpe les plaques et la connexion en une seule pièce. On obtient ainsi, par exemple, un ensemble représenté par la figure 1 dans laquelle les deux plaques C′ et C″ sont réunies aux queues A des plaques CC par les

deux barrettes A' A''. Entre les deux plaques se trouve la prise de courant B.

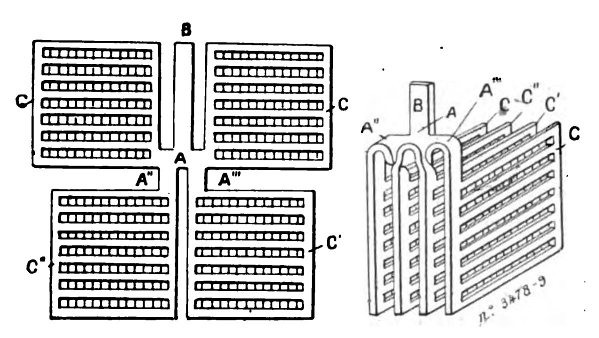


Fig. 1 et 2. — Plaque d'accumulateur H.-M. Muhle.

En courbant ces différentes pièces, on obtient alors la figure 2 qui montre les plaques prêtes à être montées. L. J.

Plaque d'accumulateur John Hewitt. Brevet américain n° 668517 du 12 juin 1900. *Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde*, t. II, p. 111, 1er avril 1901.

Cette plaque, représentée par la figure 1 en

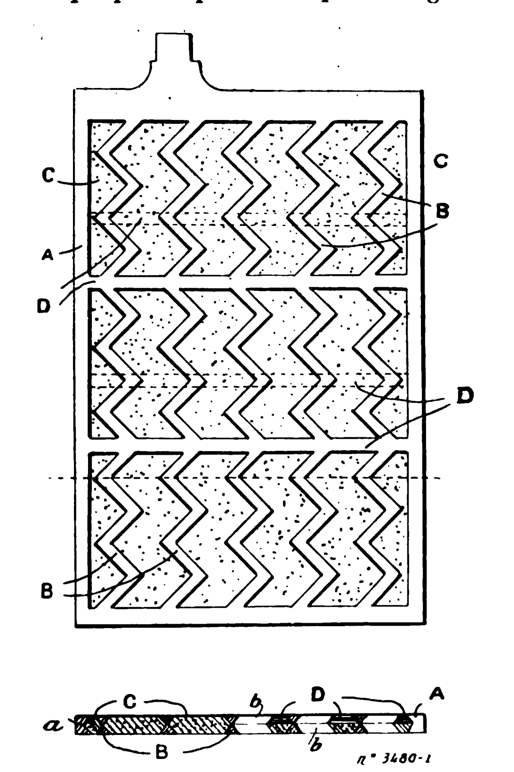


Fig. 1 à 3. — Plaque d'accumulateur John Hewett.

élévation et par la figure 2 en coupe, se compose d'un cadre A dont les montants sont creusés intérieurement (*a* fig. 2) et qui possède dans toute sa longueur des traverses B en zigzag également creusées intérieurement, de sorte que la matière active C est retenue solidement. Pour consolider la plaque et empêcher la déformation des traverses, celles-ci sont reliées en différents points par des nervures horizontales D qui sont disposées alternativement sur une face et sur l'autre et ont besoin seulement d'avoir comme épaisseur la moitié de celle des traverses.

L. J.

Electrode d'accumulateur de Accumulatoren- und Elektricitætswerke A. G. (ancienne maison W. A. Bœse et Cie). Brevet allemand, 115006, du 7 mars 1900; addition au brevet allemand, 104243, du 16 février 1898. *Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde*, t. II, p. 9, 1er janvier 1901.

Dans la nouvelle disposition brevetée ici, la plaque se compose de petites pièces *a* dont la

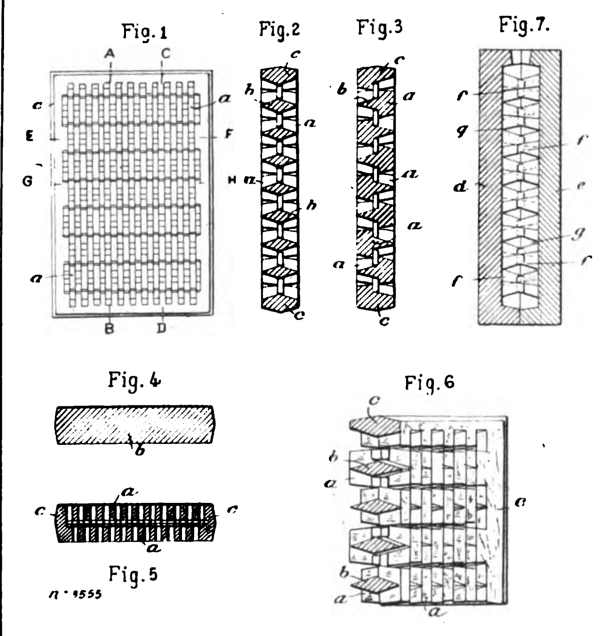


Fig. 1 à 7. — Electrode d'accumulateur Bœse.

section montre d'un côté de la plaque un triangle isocèle, et de l'autre un trapèze. Ces pièces sont rangées alternativement côté triangle et côté trapèze dans le sens horizontal aussi bien que dans le sens vertical. Comme la partie triangulaire est plus longue que la partie trapézoïdale, il en résulte que la plaque présente l'aspect d'une grille ajourée.

C'est ce qu'indiquent nettement les figures ci-contre : 1 représente la plaque en élévation; 2 une coupe d'après la ligne A B de la figure 1 ; 3 une coupe suivant C D de la figure 1 ; 4, une coupe horizontale selon E F de la figure 1 ; 5 une coupe horizontale suivant G H de la figure 1. Enfin la figure 6 offre une vue en perspective d'une partie de la nouvelle plaque.

Cette plaque est obtenue par coulée, et la figure 7 montre une coupe verticale du moule en deux parties, employé ici. L. J.

Electrode d'accumulateur et connexion interchangeable de Albert Ricks. Brevet français, n° 300012 du 5 mai 1900. Brevet allemand n° 116413 du 11 avril 1900. Brevet anglais, n° 17 780, 1898.

La plaque se compose d'un support mince en matière isolante, celluloïd, mica ou encore en matière conductrice comme l'aluminium, mais recouverte d'une couche isolante. Sur ce support on fixe un enduit d'une substance agglutinante

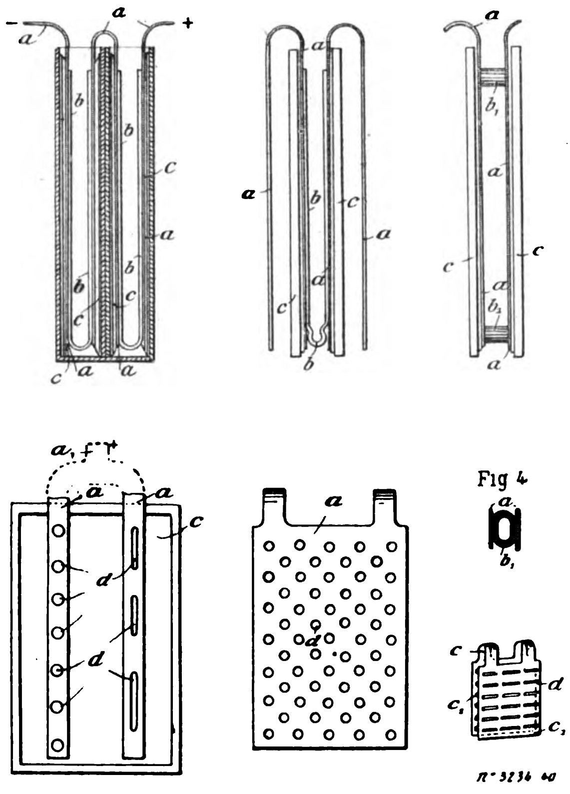


Fig. 1 à 7.

quelconque, une solution de caoutchouc ou de celluloïd par exemple. Puis on répand sur cette couche de la matière active finement granulée. Après le séchage de cette première couche, on empâte comme sur une plaque ordinaire.

On peut également amener le support à l'état plastique, en le chauffant par exemple, et le saupoudrer à cet état de la première couche de matière active.

Afin d'obtenir des connexions facilement démontables et interchangeables, celles-ci sont constituées par des bandes a (fig. 1, 2, 3 et 4) recourbées en forme d'U et qui peuvent affecter différentes formes (fig. 5, 6 et 7). Ces bandes sont appliquées sur la matière active des électrodes c, et pour assurer un bon contact avec celles-ci, des bandes flexibles b b_1 en matière élastique, caoutchouc par exemple, viennent opérer le serrage. L. J.

Sur la polarisation gazeuse dans l'accumulateur au plomb, par le **Dr Strasser** et le **Dr Gahl.** — *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VII, p. 11. 5 juillet 1900.

Les auteurs ont déterminé au laboratoire de l'Accumulatorenfabrik A.-G. de Hagen, la tension nécessaire au dégagement de l'hydrogène pour des électrodes à différentes teneurs d'antimoine.

Ils essayèrent d'abord à ce point de vue les alliages de plomb et d'antimoine, à surface métallique polie et trouvèrent que l'hydrogène se

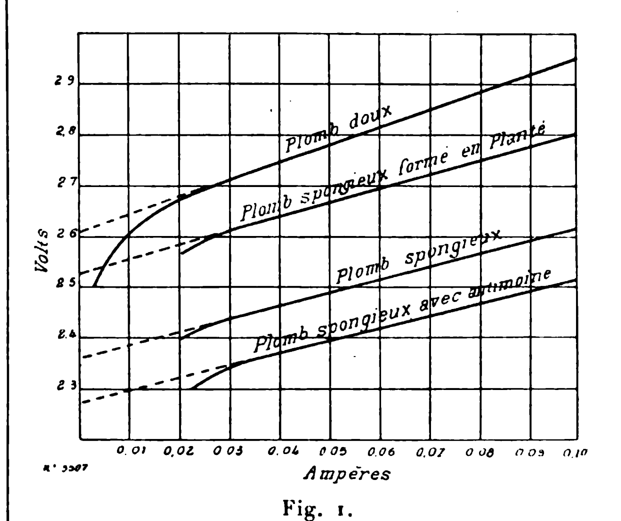


Fig. 1.

sépare le plus facilement à l'antimoine pur et le plus difficilement au plomb pur, les différents alliages se plaçant intermédiairement comme l'indiquent les valeurs suivantes rapportées aux

différences de tension par rapport au plomb pur.

Plomb pur	0,00 volt
Plomb avec 5 p. 100 d'antimoine	0,10 »
Plomb avec 24 p. 100 d'antimoine	0,30 »
Antimoine pur	0,31 »

Ces valeurs sont presque indépendantes de la densité de courant employée ; mais elles dépendent beaucoup de la nature de la surface. Elles se rapportent d'ailleurs à une densité d'acide de 1,18.

Pour montrer que cette différence de tension ne provenait pas de la matière, on déterminait l'influence d'une addition d'antimoine à l'électrode négative, sur la force électromotrice de l'accumulateur. Les valeurs suivantes étaient obtenues :

Plomb doux	2,10 volts
Plomb à 5 p. 100 d'antimoine	2,10 »
Plomb à 24 p. 100 d'antimoine	2,08 »
Antimoine pur	1,58 »

Au point de vue de la force électromotrice, l'addition d'antimoine est donc presque sans influence, même pour des grandes quantités.

A égale intensité de courant, on observe que pour les alliages d'antimoine, les bulles d'hydrogène dégagé sont plus petites que pour le plomb pur.

Les auteurs ont également recherché l'influence du plomb spongieux pur ou antimonieux sur la séparation de l'hydrogène.

Les électrodes étaient constituées ici par un mélange de litharge, glycérine et eau, autour d'un conducteur en plomb.

Le plomb spongieux antimonieux était obtenu en chargeant la plaque en regard d'une anode constituée par une petite baguette en antimoine, ce qui précipite l'antimoine.

On observait ici la différence de potentiel totale en charge, la positive étant une grande plaque peroxydée, chargée, et la négative, la petite électrode de recherche. Les courbes de la figure 1 montrent que l'hydrogène se sépare le plus facilement à une électrode en plomb spongieux, antimonieux. Viennent ensuite, le plomb spongieux pur et le plomb métallique. On peut en conclure que pour une négative formée, l'hydrogène doit se séparer au plomb spongieux, et non pas au quadrillage ou au cadre.

En dehors du plomb spongieux fabriqué par réduction de la litharge, un autre essai était effectué avec du plomb spongieux en couche mince obtenu par formation Planté.

La courbe relative à ce cas se place entre le plomb doux et le plomb spongieux.

On peut conclure de ces recherches que la tension nécessaire au dégagement d'hydrogène est essentiellement dépendante de la matière de l'électrode négative. La présence de l'antimoine dans la grille seule ne peut pas abaisser la tension de charge, car l'hydrogène se sépare, même pour les grandes intensités de courant, presque complètement à la matière où est à vaincre une moindre tension supplémentaire. Mais si, pendant l'exploitation de l'élément, de l'antimoine pénètre dans la masse, la tension de charge baisse considérablement. L. J.

Sur le calcul d'une batterie pour un travail donné, par le Dr **K. Norden**. *Electr. World a. Eng.* t. XXVII, p. 396, 1901. *Centralblatt für Accumulatoren- und Elementenkunde*, t. II, p. 125, 15 avril 1901.

Si le travail de la batterie est donné par la courbe de décharge (fig. 1), on décompose la

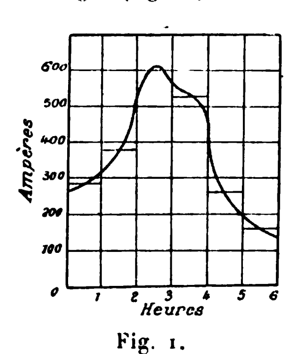


Fig. 1.

surface de celle-ci en une série de rectangles dont la hauteur est l'intensité moyenne et la largeur, l'unité de temps, l'heure par exemple.

On obtient une fois pour toutes le diagramme du type d'élément considéré en traçant d'un point O (fig. 2) la verticale O1 de longueur correspondante à la capacité de décharge en une heure d'après le catalogue. De 1, on tire la droite 1n parallèle à l'axe des x. Les points 2, 3, etc. sont les points d'intersection de cette droite avec les arcs de cercle de rayon O2, O3, etc. de longueur correspondante à la capacité de décharge en 2, 3, etc. heures. On prend ensuite sur chacun de ces rayons une longueur correspondant à une

heure de décharge au régime considéré, soit

$$O.10' = \frac{1}{10} O.10, \quad O.6' = \frac{1}{6} O.6, \quad O.3' = \frac{1}{3} O.3, \text{ etc.},$$

et on obtient la courbe 1, 2', 3', 6', 10'.

La figure 1 indique que la capacité totale débitée doit être approximativement 2 200 ampères-heure en six heures de décharge. Pour

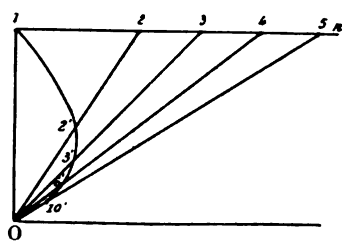


Fig. 2.

celle-ci, on trouve dans le catalogue, par exemple, 1 950 ampères-heure pour la décharge en trois heures. Si la longueur du rayon O.3 est égale à 30 cm, 1 cm correspond à $\frac{1950}{30} = 65$ ampères-heure. Comme l'intensité moyenne est, pendant la première heure, $I = 286$ ampères, du point O on tracera l'arc OA de rayon $OA = \frac{286}{65} = 4{,}4$ cm qui coupera la courbe 1 3' O en A (fig. 3).

Sur ce rayon on devrait porter ensuite le nombre d'ampères-heure débités avec cette intensité. Dans le cas particulier étudié ici, c'est OA qui représente cette valeur, car on a

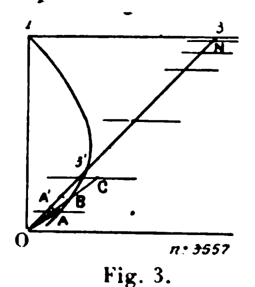


Fig. 3.

pris l'heure comme largeur des rectangles élémentaires de la figure 1 ; dans le cas de décharge d'une demi-heure à l'intensité précédente, il faudrait prendre $\frac{OA}{2}$.

Si on tire du point A une horizontale, celle-ci coupe sur chaque rayon la capacité déchargée à l'intensité correspondante. L'intensité suivante coupe la courbe en B ; par ce point on mène un nouveau rayon et la valeur de la capacité débitée à ce régime d'après la figure 1 portée sur cette droite donne le point B. Du point A' on porte une longueur $A'C = OB$ et la nouvelle capacité est ainsi ajoutée géométriquement à la précédente.

En opérant ainsi successivement, on obtient comme dernier point, le point N sur la droite O.3. Si ce point coïncide avec 3', cela indique que la batterie choisie est absolument juste. Si N est au-dessous de 3, la batterie est trop forte ; si au contraire, il se trouve au-dessus, la batterie a été choisie trop faible. Lorsque la différence est trop considérable, il est utile de répéter la construction avec une autre grandeur de batterie. De cette manière, on obtient un résultat tout à fait satisfaisant. L. J.

DIVERS

Rotation électromagnétique et induction unipolaire, par **E. Hagenbach.** *Dr. Ann.*, t. IV, p. 233-277, février 1901.

L'auteur décrit un grand nombre d'expériences sur les rotations électromagnétiques et les phénomènes d'induction dits unipolaires.

Il est inutile de revenir sur cette question qui a été discutée ici par M. Raveau (1). M. L.

Distribution de l'électricité sur un ellipsoïde, par **H. Dorrie.** *Dr. Ann.* t. IV, p. 638-642, mars 1901. **Id.** par **G. Jaeger.** *Ibid.* t. V, p. 240, mai 1901.

H. Dörrie expose une méthode de calcul pour déterminer la densité électrique en un point de la surface d'un ellipsoïde. G. Jaeger rappelle que cette méthode a été indiquée déjà par Stefan. Elle consiste à considérer l'ellipsoïde comme résultant de la déformation d'une sphère. M. L.

(1) Raveau : Sur la loi élémentaire des actions électromagnétiques et l'induction unipolaire. *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 161, février 1900.



SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 17 juin 1901.

Sur les forces électromotrices de contact et la théorie des ions; par **E. Rothé**. *Comptes rendus*, t. CXXXII, p. 1478-1481.

On sait que l'électromètre capillaire de M. Lippmann permet de déterminer aisément la force électromotrice de contact entre le mercure et le liquide qui le baigne, si on admet qu'au moment où la tension superficielle capillaire atteint son maximum, la couche double est nulle à la surface de séparation du liquide et du mercure capillaire. M. Rothé a étudié par ce procédé comment varie cette force électromotrice avec la concentration des solutions.

L'appareil qui lui a servi ne diffère de l'électromètre ordinaire de M. Lippmann que par la forme de la cuvette : des dispositifs particuliers permettent de laver facilement la pointe capillaire et de changer les liquides. Dans toutes les expériences, le large mercure était recouvert d'un sel de mercure peu soluble, contenant le même anion que le liquide : l'expérience a montré en effet que, sans cette précaution, la force électromotrice du compensateur correspondant au maximum n'est pas bien déterminée; elle croît lentement pendant plusieurs mois avant d'atteindre une valeur limite jusqu'à ce que le liquide soit saturé de sel mercureux; cette limite est au contraire obtenue immédiatement quand on recouvre le mercure d'une couche de sel mercureux. Ces sels sont d'ailleurs assez peu solubles pour que le mercure capillaire soit encore parfaitement polarisable. Les liquides étudiés se trouvent ainsi être des solutions très étendues de sulfate mercureux dans l'acide sulfurique et de chlorure mercureux dans l'acide chlorhydrique de différentes concentrations. Pour la préparation des solutions étendues, il était nécessaire d'employer de l'eau distillée, exempte de matières organiques aussi bien que de sels minéraux : l'eau du commerce a été distillée d'abord sur le permanganate de potasse, redistillée et purifiée ensuite par congélation fractionnée.

Pour chacun des liquides, M. Rothé a déterminé à la façon habituelle la courbe de graduation de l'électromètre, en portant en ordonnées les hauteurs de mercure, et en abscisses les forces électromotrices, et évalué la force électromotrice correspondant au maximum par la méthode du diamètre rectiligne.

Les courbes ainsi obtenues permettent d'énoncer les résultats suivants :

La force électromotrice du compensateur correspondant au maximum de tension superficielle augmente avec la concentration.

Les hauteurs de mercure soutenues, soit au maximum, soit quand les deux mercures sont en communication, diminuent quand la concentration augmente.

Les courbes sont d'autant moins inclinées sur l'axe des abscisses que la concentration est plus grande.

Les variations de la force électromotrice sont indiquées ci-dessous :

Acide sulfurique.

Nombre de gr de SO^4H^2 par litre .	9	9,91 (décinormale)	16	32,5	91,4	99,2 (normale)	184,6	195,2 (binormale)	315	458,8 gr
Densité à 15° . .	1,0055	1,0062	1,010	1,021	1,059	1,0629	1,116	1,123	1,193	1,273
Force électromotrice du compensateur correspondant au maximum. . .	0,874	0,876	0,877	0,885	0,903	0,910	0,926	0,940	0,985	1,0435 volt

Acide chlorhydrique.

Nombre de gr de HCl par litre . .	5,4	16	37,15	43,3	72	102,4	142	193,5 gr
Densité à 15°	1,0019	1,007	1,017 (normale)	1,0206	1,034	1,0479	1,0655	1,0884
Force électromotrice du compensateur correspondant au maximum.	0,555	0,557	0,568	0,573	0,583	0,600	0,618	0,683 volt



M. Rothé termine sa note en montrant que ces résultats sont d'accord avec ceux que permet de prévoir la théorie des ions [1].

[1] « La théorie des ions, dit M. Rothé, permet de prévoir le sens de ces variations : soit, en effet, E la force électromotrice d'une pile de concentration formée de deux électrodes de mercure et de deux solutions L_1, L_2, d'un sel de mercure, différemment concentrées et très étendues,

$$E = Hg \mid L_1 + L_1 \mid L_2 + L_2 \mid Hg$$
$$Hg \mid L_1 - Hg \mid L_2 = E - L_1 \mid L_2. \quad (1)$$

On peut, en s'appuyant uniquement sur la notion de pression osmotique des ions et sur les principes de la thermodynamique, comme l'a fait, par exemple, M. Couette (*Journ. de Phys.*, 3e série, t. IX) dans une élégante démonstration, calculer la force électromotrice E. En désignant par n', n'' les valences du cathion et de l'anion, h le coefficient de transport de Hittorf, R la constante des gaz parfaits, T la température absolue, A la quantité d'électricité transportée par un ion gramme monovalent, $\frac{p_2}{p_1}$ le rapport des pressions osmotiques des ions mercure dans les solutions L_2 et L_1, on a,

$$E = \left(\frac{1}{n'} + \frac{1}{n''}\right)\frac{h}{A} \, RTL \, \frac{p_2}{p_1}. \quad (2)$$

» D'autre part, la forme électromotrice au contact des liquides L_1 et L_2 a pour expression

$$L_1 \mid L_2 \mid = \left(\frac{1-h}{n'} - \frac{h}{n''}\right)\frac{RT}{A} \, L \, \frac{p_1}{p_2}. \quad (3)$$

» En combinant les égalités (1), (2) et (3), on obtient

$$Hg \mid L_1 - Hg \mid L_2 = \frac{RT}{n'A} \, L \, \frac{p_2}{p_1}. \quad (4)$$

Si l'on admet la notion de pression de dissolution, due à M. Nernst, on arrive à la même formule beaucoup plus rapidement.

» Supposons que les liquides L_1, L_2 soient les solutions d'un sel mercureux à saturation en présence d'un excès de sel solide, dans un acide ou un sel contenant le même anion ; la quantité de sel non dissocié peut être considérée comme constante, et l'on établit aisément que $\frac{p_2}{p_1} = \frac{c_1\delta_1}{c_2\delta_2}$ où c_1 et c_2 sont les concentrations moléculaires, δ_1, δ_2, les degrés de dissociation de la solution acide ou saline considérée.

» On peut donc transformer la formule (4) et écrire

$$Hg \mid L_1 - Hg \mid L_2 = \frac{R}{n'A} \, L \, \frac{c_1\delta_1}{c_2\delta_2}. \quad (5)$$

» 1° Cette formule indique que, pour des solutions également concentrées et dissociées contenant le même anion, on doit avoir $Hg \mid L_1 = Hg \mid L_2$. C'est ce que j'ai vérifié expérimentalement en prenant pour liquide de l'électromètre capillaire une solution normale de NaCl, puis de KCl, le large mercure recouvert de cathion (Rothé, *Journ. de Phys.*, t. IX, p. 543). Je reviendrai bientôt avec plus de détails sur le rôle du cathion dans les solutions de même anion.

» 2° La formule (5) indique aussi, comme le vérifient les expériences précédentes, que la force électromotrice correspondant au maximum croît en même temps que la concentration. La connaissance des conductibilités électriques permet de calculer le rapport $\frac{c_1\delta_1}{c_2\delta_2}$; j'ai fait le calcul pour des solutions d'acide sulfurique et chlorhydrique dont la conductibilité a été mesurée à 18° par MM. Bouty ou Kohlrausch, et comparé les résultats fournis par la formule (5) à ceux de l'expérience. *L'accord est très satisfaisant pour les solutions étendues*, auxquelles seules s'applique la théorie des ions ; les plus grands écarts sont inférieurs à 0,01 volt. La divergence n'est vraiment notable qu'à partir des solutions binormales. »

Séparation du cobalt et du nickel par la voie électrolytique, par **Dimitry Balachowsky**, *Comptes rendus*, t. CXXXII, p. 1492-1495.

La méthode purement chimique permettant de séparer ces deux métaux l'un de l'autre, est assez longue et assez délicate, et, suivant l'auteur, jusqu'à présent nous ne connaissions aucune méthode électrolytique pour obtenir cette séparation : nous n'avions même aucun principe nous permettant de concevoir par quelle voie nous pourrions y parvenir, à l'exception toutefois de cette remarque de Le Blanc que, à son avis, le procédé de l'*électrosténolyse* [1] pourrait être employé à isoler le cobalt en présence du nickel.

On sait que toute la difficulté du problème tient à l'identité de la plupart des propriétés chimiques et physiques de ces deux métaux. Electriquement, dans toutes les méthodes, on dépose toujours le cobalt et le nickel [1] sur la cathode, au moyen d'une solution alcaline et dans les mêmes conditions, par les mêmes tension et intensité (3 volts et 1 ampère ND_{100}) [2].

[1] *Z. f. Electr. Chem.*, t. IV, p. 501, 1898.

[2] Ce résultat se trouve, d'ailleurs, en parfait accord avec la théorie. En effet la différence de potentiel, qui est nécessaire pour déposer un métal, est donnée par la formule

$$\pi = \frac{RT}{n_e F} \, ln \, \frac{p}{P},$$

où RT désigne les constantes des gaz (le travail osmotique) ; n_e la valence ; F la quantité d'électricité ; p la pression osmotique ; P la pression de la solubilité.

Les valeurs des quatre premières de ces quantités étant identiques pour les deux métaux, il ne reste que P qui puisse donner lieu à une différence : mais comme les valeurs de P ne diffèrent que de 0,6 atmosphère, la différence entre les deux potentiels, pour Co et Ni, n'est que de 0,1 volt. Par exemple : pour Co, dans $CoSO^4$, on a $\pi = 1{,}92$ volt ; $\pi_{Ni} = 2{,}09$ volts ; d'où Δ (différence)

L'auteur est cependant parvenu à effectuer cette séparation en prenant une solution acétique des deux métaux. A cette solution il ajoute pour 0,3 gr du métal, 3 gr de sulfocyanate d'ammoniaque, 1 gr d'urée et 1 cm^3 à 2 cm^3 d'ammoniaque, pour neutraliser l'excès d'acide acétique, le tout occupant 100 cm^3 de liquide dans la capsule de Classen. La tension avec laquelle il opère atteint *au maximum un volt*; l'*intensité* 0,8 ampère *pour* ND_{100} *minimum*, la température étant de 70° à 80°. Le temps nécessaire est de une heure et demie (1).

= 0,17 volt; et pour Co, dans $NiCl^2$, on trouve $\Delta =$ 0,03 volt.

Or comme, pendant l'électrolyse, on opère au début avec une solution d'une concentration de 1/10 et pour déposer les dernières traces de métal on doit opérer à la fin avec une solution de 0,000001 (normale), on voit qu'il faut dans ce cas augmenter le voltage pour les métaux bi-équivalents en moyenne de 0,15 volt, et toute la différence disparait.

(1) « Il faut absolument, dit l'auteur, avoir de 0,8 ampère à 1 ampère ND_{100}. Nous avons remarqué, en effet, qu'avec un petit ampérage (avec 0,4 ampère à 0,5 ampère) nous obtenions la précipitation de Co avec Ni; et c'est seulement avec 0,8 ampère qu'on obtient la séparation de Co de Ni. Ainsi les plus petites quantités de Fe, Mn, Bi, entraînent avec elles une quantité notable de Co, d'où la nécessité d'une plus grande pureté des vases et des réactifs.

» Il nous a été donné d'observer ce rôle important de l'ampérage dans beaucoup de cas. Et nous pensons que c'est seulement avec 0,8-1 ampère que les ions Co restent dans un état de complexité tel qu'un courant de 1 volt ne peut les entrainer sur l'électrode. En abaissant l'ampérage (0,2-0,6 ampère), même avec 0,8 volt, on obtient donc le dépôt du cobalt.

» En employant cette méthode on recueille sur la cathode, le nickel, qui contient le *soufre*, et nous pouvons même, en nous appuyant sur les résultats obtenus, conclure que Ni et Co se précipitent à l'état de sulfures : l'un, de nickel, sous le courant de 1 volt; l'autre, de cobalt, au-dessus de 1,2 volt. Nous poursuivons nos recherches afin d'obtenir des sulfures de nickel et de cobalt ayant une composition bien définie, ce qui, pensons-nous, permettra de déduire le poids atomique du cobalt et du nickel.

» Le nickel étant ainsi séparé à l'état de sulfure, nous le dépolarisons, ou bien nous le dissolvons dans 4 cm^3 ou 5 cm^3 d'acide azotique; nous nous débarrassons du soufre par filtration, puis nous évaporons jusqu'à 100 cm^3, et nous neutralisons la solution avec de l'ammoniaque.

» Enfin, nous l'électrolysons par la méthode de M. Classen (Dr A. Classen, *Qualitative Analyse durch Electrolyse*, IV Auflage, 1897) (pour 0,4 gr du métal, 4 gr à 5 gr d'oxalate d'ammonium; 0,8 ampère à 1 ampère ND_{100}; 60 à 70°, 1,5 heure à 2 heures), ou par notre méthode, qui consiste à employer : pour 0,3 gr du métal (cobalt ou nickel) dans une solution acétique et neutralisée par l'ammoniaque, 1 gr d'acide succinique et 1,5 gr d'urée. On électrolyse dans les conditions suivantes : 70 à 80°; 3,5 volts; 0,8 à 1 ampère ND_{100}, en deux ou trois heures pour le cobalt et quatre heures pour le nickel. La réaction doit être toujours acidulée. Notre méthode est intéressante à ce point de vue qu'elle est la seule, de toutes celles que nous connaissons, qui donne le dépôt du cobalt et du nickel dans une solution acidulée; la possibilité d'une telle méthode avait été contestée par Fresenius et Bergmann (*Z. f. an. Ch.*, t. XIX, p. 315).

» On évapore enfin au bain-marie la solution qui contient le *cobalt* après qu'on a précipité tout le nickel, en ajoutant 5 cm^3 d'acide azotique; on évapore à 100 cm^3; on se débarrasse du soufre par filtration; on neutralise avec du carbonate d'ammoniaque et l'on électrolyse soit d'après la méthode de M. Classen, soit d'après la nôtre. »

Séance du 24 juin 1901.

Sur un éclair en boule, par **J. Violle**. *Comptes rendus*, t. CXXXII, p. 1537.

Le dimanche 9 juin 1901, à 1 h 20 m p. m., vers la fin d'un orage assez violent passant au-dessus de Fixin, près Gevrey-Chambertin (Côte-d'Or), M. Violle a observé un éclair en boule dans les conditions suivantes :

J'étais, dit-il, à un balcon faisant face à l'est, et de là, je contemplais l'orage, qui se traduisait devant moi par des éclairs se succédant, à intervalles assez rapprochés, sous la forme de traits de feu à peine sinueux et presque verticaux, généralement redoublés, à 3 km environ devant moi. Puis, après un repos de quelques minutes, je vis une boule de feu paraissant tomber du ciel, à la façon d'une pierre, dans la même place où s'étaient succédé les éclairs rectilignes et de la même hauteur. Après un nouvel intervalle, la région considérée fut encore illuminée à plusieurs reprises par des éclairs en effluve, sous forme de décharges diffuses localisées en un espace restreint.

Je ne crois pas possible d'attribuer à une erreur d'optique le phénomène que j'ai vu et qui a été vu en même temps, de façon identique, par une personne placée à côté de moi et à laquelle il arracha une exclamation immédiate.

Je me suis assuré, d'ailleurs, qu'il ne s'était produit alors aucune chute d'aérolithe, bien que l'aspect du phénomène ne laissât aucun doute sur sa nature électrique (1).

(1) Le besoin qu'éprouve M. Violle de faire observer qu'il n'a pu être le jouet d'une illusion d'optique semble indiquer que des doutes s'élèvent encore sur l'existence

Emploi du résonateur Oudin pour la production des rayons X, par **R. Demerliac.** *Comptes rendus*, t. CXXXII, p. 1 586.

Il arrive souvent que l'effluve partant des tubes à vide de Rœntgen, placés trop près des sujets et actionnés par de puissantes bobines, provoque des érythèmes; avec les machines statiques, cet accident n'est pas à craindre, mais la puissance des tubes est diminuée, et ces appareils sensibles à l'humidité refusent souvent de fonctionner. D'autre part, pour certaines opérations, il convient d'employer des bobines ayant un pôle à la terre, ce qui n'est pas toujours possible.

Comme l'effluve que donnent les appareils à courants alternatifs de haute fréquence et de haute tension ne produit jamais d'érythème, que même cette effluve possède, au contraire, des propriétés curatives utilisées en électrothérapie, M. Demerliac a cherché à utiliser le résonateur Oudin, et il a reconnu qu'on pouvait avec lui actionner les tubes à vide [1].

---

des éclairs en boule, dont l'observation est d'ailleurs assez rare.

Qu'on me permette donc de signaler un éclair en boule que j'ai eu l'occasion d'observer il y a déjà vingt-cinq ans, mais dont j'ai conservé le souvenir le plus fidèle.

C'était en juin ou juillet 1874 ou 1875 vers huit heures du soir. Je jouais, avec quatre ou cinq petits camarades, dans un vaste grenier s'étendant parallèlement à l'appartement du chef de l'institution où nous étions en pension; un vitrage recouvrant une cour de récréation, se trouvait entre le grenier et l'appartement, et ceux-ci communiquaient par un couloir perpendiculaire.

J'étais fort intéressé par les effets lumineux que produisaient les éclairs, qui se succédaient presque sans interruption, et j'appelais sur eux l'attention d'un de mes camarades, lorsque j'aperçus à travers l'une des vitres une boule de feu d'environ 50 cm de diamètre présentant une protubérance de forme parallélipipédique donnant l'apparence d'une poutre embrasée sortant de la boule. Celle-ci se mouvait *lentement* (du moins il me le sembla) à une très faible distance de la vitre (40 à 50 cm à ce qu'il me parut). En même temps je ressentis de fortes brûlures le long des jambes et, malgré moi, je me mis à courir vers l'appartement; j'entrai, toujours courant, dans une pièce dont la porte et la fenêtre étaient ouvertes; dès que je fus près de la fenêtre, les brûlures cessèrent, je tombai. Examen fait des dégâts, on constata que les brûlures que j'avais ressenties n'avaient laissé aucune trace sur l'épiderme, mais qu'aux endroits correspondants les coutures de mon pantalon étaient décousues, le fil ayant complètement disparu.

Un seul des enfants qui jouaient avec moi ressentit quelques effets de la chute de la foudre; comme moi il vit nettement l'éclair en boule.

La boule de feu fut également vue par le fils (âgé d'une vingtaine d'années) du chef de l'institution. Il regardait l'orage à travers les carreaux de la fenêtre de sa chambre, située en face du toit du grenier où nous jouions; la boule de feu lui parut rouler lentement sur le toit; une secousse électrique l'ayant rejeté au fond de sa chambre, il ne put voir ce que devint la boule.

Je pourrai d'ailleurs citer un autre cas d'éclair en boule dont j'ai été le témoin, mais à un âge trop peu avancé pour que j'en aie conservé le souvenir. D'après les personnes présentes, une boule de feu roula lentement le long de la barre d'appui d'une des fenêtres de la chambre où j'étais, puis elle sauta brusquement sur la barre d'appui de la seconde fenêtre. La boule suivit ainsi toute la rue et éclata devant une maison d'une rue perpendiculaire où elle causa quelques dégâts.

J. B.

---

[1] « Tous les tubes à vide, dit M. Demerliac, s'illuminent par le passage de la décharge du résonateur quand on les fait communiquer par un conducteur avec la boule supérieure de l'appareil; mais ce sont les tubes ayant une large cathode concave et une anode très réduite qui donnent les meilleurs résultats. J'ai employé des tubes bianodiques, des tubes à anode annulaire, des tubes divers construits par M. Chabaud. Ces derniers sont les meilleurs, notamment le modèle connu sous le nom de Colardeau-Chabaud, avec électrode en palladium. Il m'a servi à faire des radiographies d'une grande netteté, aussi fines que celles obtenues au moyen de la bobine.

» Le tube est réuni au résonateur par le côté cathodique, et l'on peut soit mettre au sol l'autre électrode, soit la laisser libre; le résultat est le même, mais dans le premier cas on peut toucher le tube, le mettre au contact d'une muqueuse et, par suite l'introduire dans une cavité naturelle sans ressentir aucun effet. On peut donc employer une bobine quelconque, et, aucun danger n'est à redouter, vu l'innocuité absolue des courants de haute fréquence sur l'organisme.

» Il paraît évident que le tube fonctionne mieux quand la décharge le traverse dans un seul sens; de là la nécessité d'une anode petite et d'une large cathode. Peut-être une soupape cathodique de M. Villard faciliterait-elle beaucoup la marche.

» Le tube Colardeau-Chabaud, dont j'ai fait usage, fonctionnait couramment avec une bobine donnant 0,15 m d'étincelle, permettant alors de lire le chiffre 3 au posomètre de Brandt à la distance de 0,30 m. Quand il marche avec le résonateur actionné par la bobine de 0,35 m d'étincelle (mais réglée pour n'en donner que 25 en prenant 3 ampères dans le primaire), il permet encore la lecture du chiffre 3 du posomètre à la distance de 0,25 m. Il rend donc un peu moins, mais il a l'avantage de ne pas chauffer en marche et de pouvoir fonctionner plus longtemps avec la même puissance. D'ailleurs, cette diminution du rendement est peu importante, puisque, l'effluve n'étant plus à craindre, on peut se rapprocher du tube; la netteté de l'image radiographique reste la même, vu la faible surface de la source des rayons. »

Le Gérant : C. NAUD.



Tome XXVIII. Samedi 13 Juillet 1901. 8e Année. — N° 28

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LE CHEMIN DE FER SUSPENDU MONORAIL
DE BARMEN-ELBERFED-VOHWINKEL (SYSTÈME EUGEN LANGEN)

La Continentale Gesellschaft für Elektrische Unternehmungen, de Nürnberg, avait exposé, en 1900, à l'annexe de Vincennes, un spécimen de chemin de fer suspendu monorail dont l'invention est due à l'ingénieur Eugen Langen. La figure 1 montre la portion de voie, et la voiture exposées. Cet intéressant système de chemin de fer suspendu, a reçu une application importante : une ligne de ce genre, récemment inaugurée, relie entre elles les trois cités industrielles de Barmen, Elberfeld et Vohwinkel. C'est cette ligne, qui constitue une innovation hardie et ingénieuse, que nous allons décrire d'après les nombreux documents dont nous sommes redevables à la complaisance des constructeurs.

GÉNÉRALITÉS. — Un premier tronçon de la ligne, commencée en 1897, a été inauguré et livré à l'exploitation le 1er mars 1901, un deuxième tronçon, soit au total 7,5 km, vers la fin du mois de mai de la même année et le reste sera mis en service au cours de l'été 1902. Entre les deux points extrêmes, Rittershausen et Vohwinkel, elle comprend une longueur de 13,3 km, 20 stations avec deux voies monorails écartées de 4 m et réunies à leurs extrémités par des courbes de 8 m de rayon, de façon à former un circuit fermé et ininterrompu. Le tracé général est représenté sur les figures 2 et 3. On voit que les trois villes sont échelonnées le long de la rivière et donnent l'illusion d'une agglomération unique dont la population est évaluée à 300 000 habitants. En certains endroits, la largeur de la vallée ne dépasse pas 500 m ; elle est néanmoins sillonnée par deux grandes voies ferrées et une multitude de tramways qui ne laissaient plus de place disponible que pour une voie aérienne. Le succès de celle-ci ne semble pas douteux, étant donné l'activité commer-

ciale qui se développe de jour en jour entre les trois villes, et grâce aussi aux nombreux réseaux qui y amènent les voyageurs des campagnes environnantes.

Le viaduc métallique qui supporte le rail est installé, sur un parcours de 10 km à partir de Rittershausen, au-dessus du lit même de la Wupper, dont il épouse toutes les sinuosités. Aux environs de Sonnborn, il s'éloigne de la rivière presque à angle droit pour gagner la route de Sonnborn à Vohwinkel. Pendant 3,3 km, il passe à travers les rues des villes. Le rayon minimum des courbes de ce tracé est de 90 m, sauf en deux points, où il a été abaissé jusqu'à 75 m; le raccord de la partie courbe à la partie droite se fait par un arc de parabole de 50 m de long. Pour les voies de garage et de manœuvre, on emploie couramment des courbes de 8 m de rayon, avec des rampes de 4,5 pour cent, tandis que sur la voie principale, la plus forte rampe est de 2,7 pour cent. On a eu soin, d'ailleurs, de répartir les rampes et les courbes de telle sorte qu'il ne soit jamais nécessaire de réduire la vitesse. C'est là, en effet, un des avantages caractéristiques du système Eugen Langen, de pouvoir franchir les tournants les plus difficiles sans aucun danger ; les voitures cèdent bien à l'influence de la force centrifuge; mais, par suite de la pesanteur et surtout du mode spécial de suspension, elles reprennent lentement leur position d'équilibre sans que la sécurité et le confort de la marche aient à en souffrir.

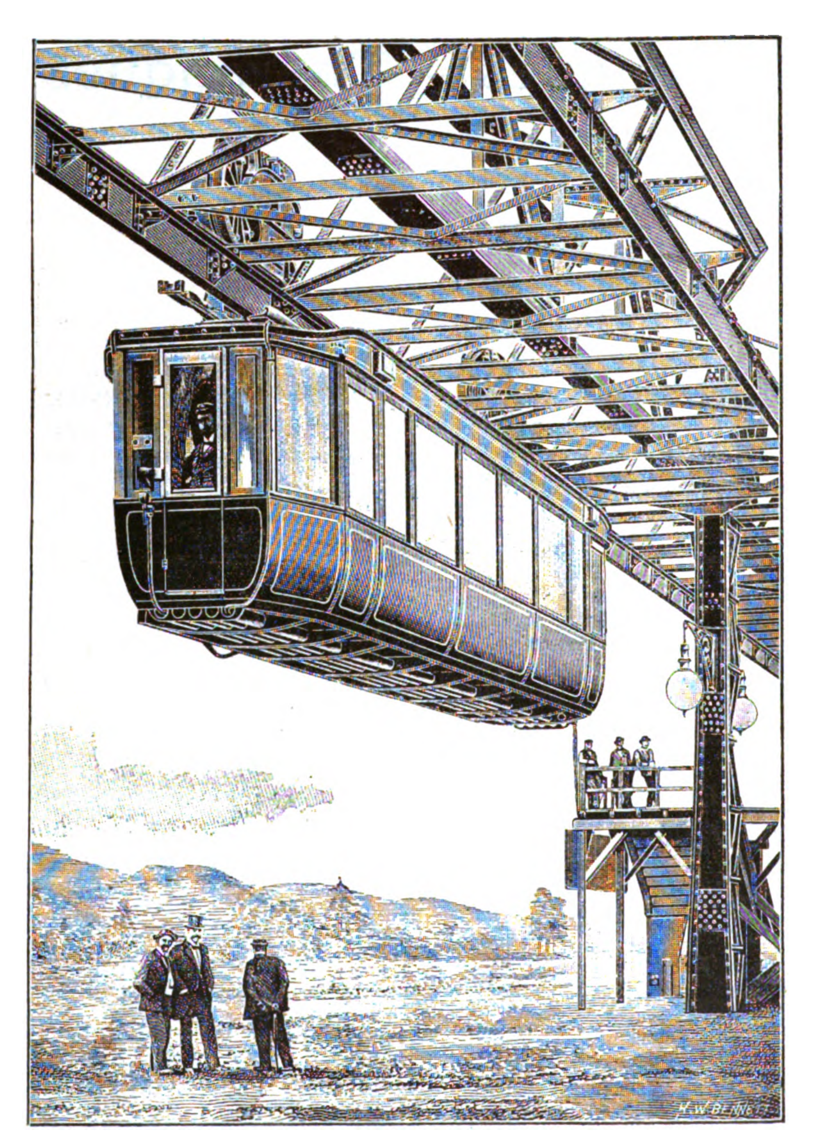


Fig. 1. — Vue d'une voiture et d'une portion de voie du chemin de fer suspendu système Eugen Langen, exposées à l'annexe de Vincennes en 1900.

Pour une courbe de 90 m de rayon, la plus grande vitesse tolérée sur les lignes de chemin de fer est 30 km à l'heure ; les voitures suspendues, au contraire, peuvent les franchir à une allure de 50 km à l'heure en prenant une inclinaison de 15° qui est la valeur normale admise [1]. Elles sont donc susceptibles de fournir une vitesse moyenne supérieure à

[1] Remarquons que, par suite du mode spécial de suspension, l'amplitude maxima d'oscillation serait de 40°.

celle des tramways et chemins de fer aériens ordinaires; pour ceux-ci, elle est de 15 et 25 km à l'heure, tandis que le système Langen laisse prévoir une vitesse commerciale de 36 km à l'heure ; peut-être même ira-t-on à 40 km, les essais ayant démontré qu'on pouvait atteindre cette vitesse 10 à 15 secondes après le démarrage. Pour tout le parcours de 13,3 km, les voitures du chemin de fer suspendues n'emploieront pas plus de temps que les trains express de l'État, quoique cette dernière ligne ait un kilomètre de moins et que les trains ne s'y arrêtent qu'à deux stations intermédiaires, tandis que les voitures du chemin de fer suspendu stopperont à 20 stations, avec un arrêt de 15 secondes.

Ces stations sont établies, autant que possible, aux points de croisement avec les tramways, ou à proximité des ponts (1) ; leur distance est comprise entre 320 et 1000 m. Les gares, avec quais d'embarquement extérieurs à la voie, sont à la hauteur du niveau des plus hautes eaux sur la rivière, et, sur les routes, on les a élevées le moins possible. L'élévation moyenne du plancher des voitures au-dessus du sol est de 4,50 m ; on l'augmente de 25 cm sur les routes fréquentées par les tramways. Ce même plancher se trouve à 3,5 m au-dessous de la surface du rail, qui court donc au moins à 8 m au-dessus du sol.

Les voitures comprennent 50 places dont 30 assises ; il est possible de composer des convois de 4 voitures qui, se succédant à deux minutes d'intervalle, pourront transporter à la fois, dans chaque direction, 6000 personnes à l'heure (2).

---

(1) Ces dernières stations sont : Schiller-Brücke, Werther-Brücke, Rathaus-Brücke, Adler-Brücke, Loher-Brücke, Kaiser-Brücke, Landgerichts-Brücke, Alexander-Brücke.

(2) Essais préliminaires. — La première voie d'essai fut installée à Cologne ; les châssis pivotants roulaient sur deux rails et on s'était arrangé pour effectuer le raccordement du châssis avec la voiture, de telle sorte que les caisses des voitures pussent osciller dans certaines limites assez étroites au début. Cette ligne comprenait deux parties en demi-cercle de 10 m de rayon, raccordées avec deux parties rectilignes de 20 m de longueur. Cette installation montra que les voitures pouvaient circuler avec une vitesse de 12 km à l'heure, malgré le faible rayon des courbes.

Le système suspendu, à deux rails, présentait donc déjà sur tous les chemins de fer aériens connus, un avantage appréciable. Aussi, la commission chargée d'examiner les différents projets de la voie aérienne qui devait relier Barmen, Elberfeld et Vohwinkel, adopta le système du chemin de fer suspendu à deux rails à l'exclusion du chemin de fer aérien proposé par la maison Siemens et Halske de Berlin.

A la suite de ces premiers essais, on installa, au-dessous de la première voie, une deuxième voie disposée d'une façon analogue, mais à rail unique. Les rayons des deux parties circulaires furent ramenés à 9,50 m ; et plus de latitude encore fut laissé à la libre oscillation du véhicule. Les courbes furent franchies à une vitesse de 25 km à l'heure, avec une inclinaison allant jusqu'à 25°, sans aucune sensation désagréable pour les voyageurs assis ou debout. Quand la voiture passait au raccordement de la courbe avec la voie rectiligne, elle revenait insensiblement à la position verticale sans aucun balancement. Des récipients pleins d'eau, disposés dans la voiture, ne perdaient pas une goutte de liquide. Ces résultats furent le point de départ de nouvelles négociations entre la municipalité d'Elberfeld et la Continentale Gesellschaft für Elektrische Unternehmungen, et il fut décidé que le chemin de fer suspendu à rail unique serait appliqué sur la ligne en projet.

La faculté d'osciller librement ne compromet donc en rien la sécurité de la marche ; jusqu'ici tous les inventeurs avaient eu pour préoccupation principale la suppression du balancement.

Voici comment la commission des brevets allemands a caractérisé l'idée prédominante de l'invention : « A l'aide du chemin de fer aérien avec voitures à voyageurs suspendues, on a pour but, par une disposition convenable des supports et des véhicules, de rendre de longues voitures à voyageurs, suspendues à des supports de construction légère, aptes à traverser facilement, sûrement et tranquillement les courbes de voie les plus petites sans que pour cela il y ait une tendance apparente à fausser les supports dans le service ordinaire. »

Le point principal du brevet allemand n° 83047 est en parfaite concordance avec ce qui précède ; abstraction faite de certaines considérations qui ne sont compréhensibles qu'avec les plans à l'appui, il s'exprime comme suit : « *Une installation pour la suspension des véhicules de chemins de fer aériens pour le transport des voyageurs*, dans laquelle les châssis des roues des véhicules sont des châssis pivotants reliés à des caisses de voitures suspendues elles-mêmes à des supports de voies de roulement rigides, de telle façon que, lorsque sous l'influence de forces latérales se présentant dans le service régulier la voiture prend une position angulaire, les supports ne soient pas en contact, en voie rectiligne, avec les appareils de sûreté se trouvant au-dessous d'eux sur le châssis pivotant et

Usine génératrice. — Le courant est fourni par l'usine génératrice d'Elberfeld, située à Westend, dans le voisinage immédiat du chemin de fer suspendu. Les dynamos-vapeur, de 850 kilowatts, débitent 1420 ampères sous 600 volts ; une batterie tampon sert à parer aux fluctuations de charge de la ligne. Une deuxième batterie de 60 éléments, absolument independante, est installée à Vohwinkel où elle distribue l'éclairage et la force motrice au hall de garage et aux ateliers de réparation. On la charge au moyen d'une dynamo qu'on accouple à une deuxième branchée directement sur la ligne. Les rôles peuvent être renversés c'est-à-dire qu'on décharge la batterie dans la première dynamo qui entraîne la deuxième fonctionnant en génératrice sous une tension égale à celle du réseau soit 600

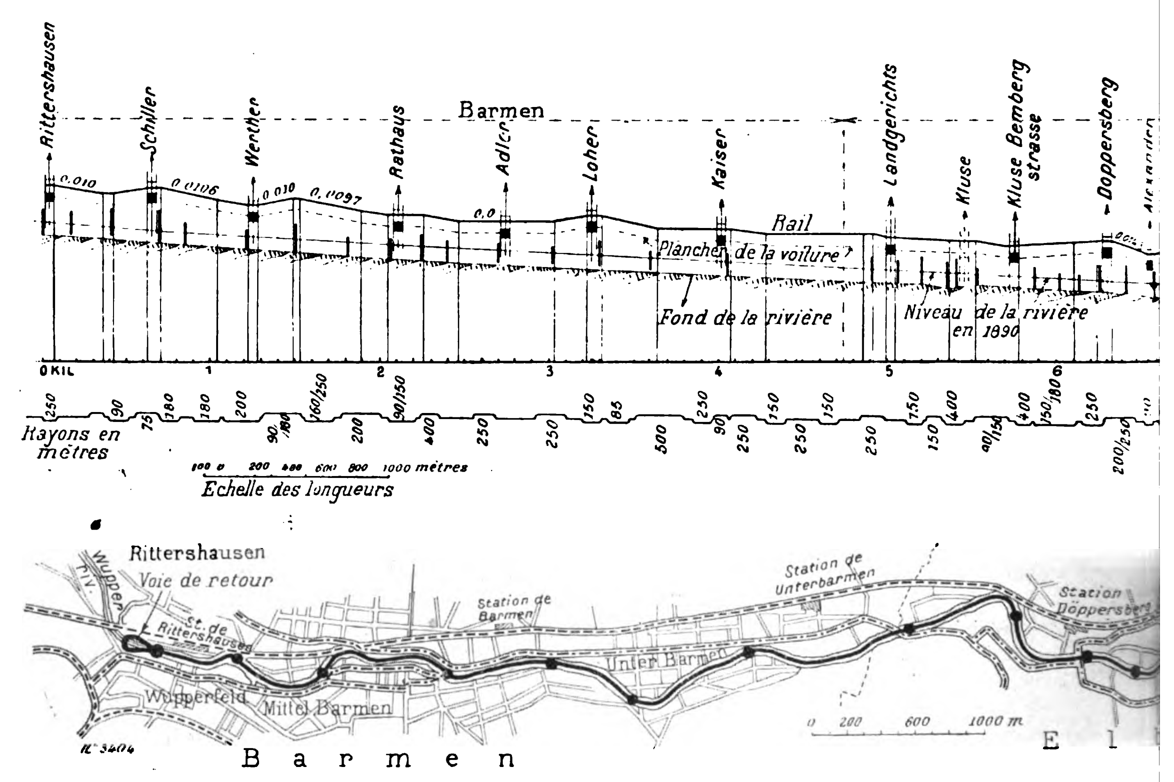


Fig. 2 et 3. — Profil en long et plan général du che

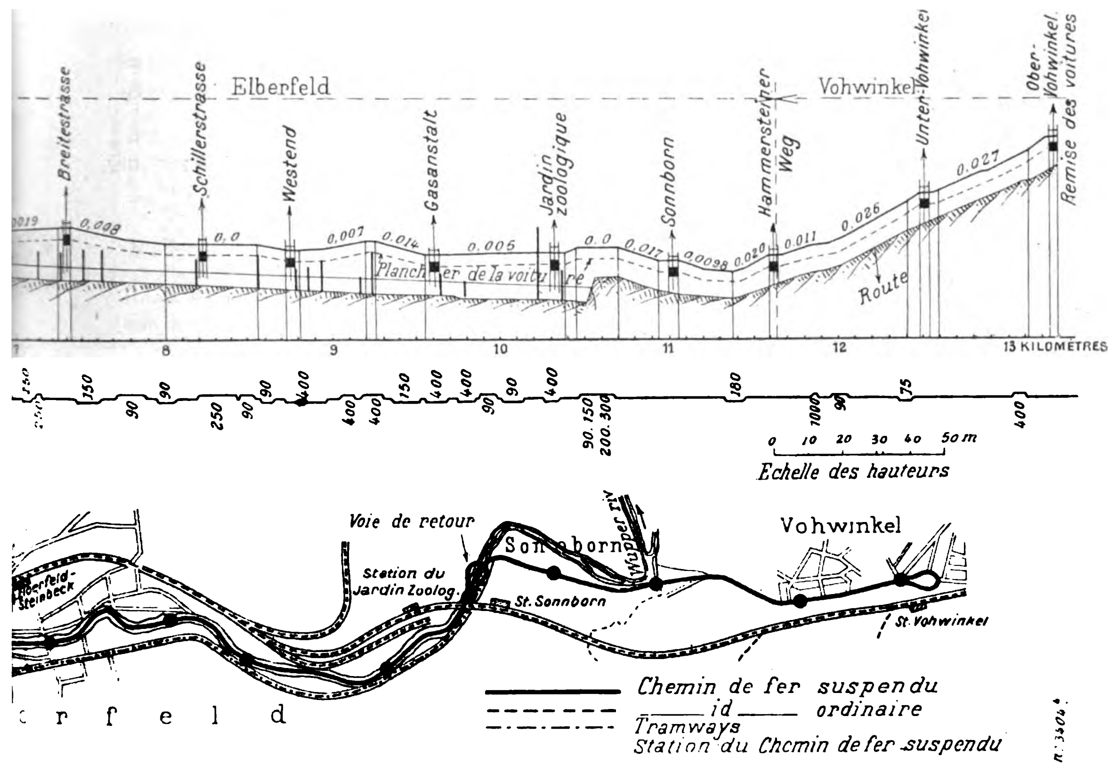
volts. Il y a trois centres de distribution pour le tronçon actuellement en exploitation : le premier, au Jardin Zoologique d'Elberfeld, alimente la section Jardin Zoologique-Vohwinkel ; les deux autres à Westend desservent, l'un la section Westend-Jardin Zoologique, l'autre la section Westend-Kluse, cette dernière station étant le point terminus actuel.

Voie. — *Piliers.* — Pour supporter la voie aérienne, les conditions locales ne permettaient pas de s'en tenir à un modèle unique de colonnes ou de piliers. Nous avons dit que, sur un parcours de près de 10 km, la ligne s'élevait au-dessus du lit même de la rivière,

qu'ils ne soient pas fortement serrés, sans trop de tendance à être faussés, lors du passage du véhicule dans les courbes. »

M. Richard Petersen, Ingénieur en chef de la Continentale Gesellschaft für Elektrische Unternehmungen, dans une étude comparative très documentée, a fait ressortir la supériorité du chemin de fer suspendu sur tous les autres systèmes au point de vue de la vitesse, question pleine d'actualité puisque, de tous côtés, surgissent des projets de

dont la largeur varie entre 15 et 40 mètres, et dont les bords sont plus ou moins escarpés. D'autre part, le cahier des charges ne tolérait que l'emploi du fer, à l'exclusion de toute autre matière. Après bien des essais, où les considérations esthétiques entraient aussi pour une grande part, la Société concessionnaire a fixé son choix sur deux types : les piliers à treillis, d'une construction simple et robuste et les supports à arceaux, tous les deux à section carrée et s'élargissant de la base au sommet. Les premiers sont utilisés tout le long de la Wupper. On constitue un support à l'aide de deux de ces piliers disposés obliquement au-dessus du cours d'eau et réunis par une poutre transversale en plaques de tôle rivées ensemble. La figure 4 donne une vue d'ensemble d'une palée le long de la



,fer suspendu de Barmen-Elberfeld-Vohwinkel.

Wupper et la fig. 5, le détail de construction d'une colonne en fer. Le pied des piliers est articulé sur un solide massif en maçonnerie, bâti sur les berges ; mais il n'a pas toujours été possible de les établir au-dessus du niveau des plus hautes eaux. Pendant les grandes crues, en effet, la Wupper inonde les rues riveraines de Barmen et Elberfeld, et la construction d'ouvrages hors de l'atteinte des inondations présentait des difficultés énormes et de nombreux désavantages ; aussi les autorités compétentes ont-elles permis que les piliers pénètrent d'environ deux mètres au-dessous du niveau des plus hautes eaux. Grâce à la distance (21, 24, 27, 30 et 33 mètres) qui sépare les piliers les uns des autres, il ne peut

---

chemins de fer rapides à 200 et même 250 km à l'heure. Nous regrettons que le manque de place nous empêche de publier entièrement le travail de M. Petersen. L'idée qui s'en dégage est la suivante. Les courbes qui existent nécessairement sur tout tracé de chemin de fer sont un obstacle à une marche rapide à cause de l'inclinaison que prend le convoi sous l'influence de la force centrifuge. La surélévation du rail extérieur est une mesure préventive insuffisante, car elle ne convient que pour une courbe et une vitesse bien déterminées. En outre, les défauts de cons-



se produire de remous, ni d'élévation notable du niveau de l'eau. Chacun d'eux se compose en réalité de 4 parties, de constructions et de dimensions variables de l'un à l'autre, suivant les exigences de l'emplacement qui doit le recevoir.

L'extrémité supérieure est un prisme droit dont la section carrée a 80 cm de côté intérieurement, et 87,6 cm extérieurement ; ce qui donne une épaisseur de fer de 7,6 cm. Sa hauteur est comprise entre 30 et 150 cm ; ensuite, l'âme a pour longueurs 11,25, 13,8, 16 et 19,2 m, et diminue, de haut en bas, en formant un tronc de pyramide quadrangulaire, dont la petite base a 40 cm de côté intérieurement.

Le caisson qui relie le fût au pied, varie entre 155,1 et 520,2 cm, par degrés de 100 mm.

L'arche qui réunit deux piliers est simplement une poutre droite qui mesure 6 m et dont la section rectangulaire a pour dimension 85×53 cm². Le raccordement se fait sous un angle assez obtus pour ne pas gêner le libre balancement de la voiture dans les courbes. Les deux rails sont à 4 m l'un de l'autre ; on n'a nullement cherché d'ailleurs à faire coïncider l'axe de la voie avec le milieu de la rivière.

Au-dessus des rues principales de Sonnborn et Vohwinkel, la voie est maintenue par

truction de la voie, principalement l'écartement des rails, apportent des perturbations considérables, indépendantes du rayon de courbure et de la vitesse, et, par suite, difficiles à corriger, à moins de recourir à des chaussées en maçonnerie ou en fer. Le chemin de fer suspendu est, en principe, affranchi de toutes ces imperfections ; il semble donc la solution rationnelle du problème complexe des trains à marche rapide. Les chiffres du tableau suivant sont, à cet égard, très concluants.

RAYON de la courbe.	VITESSE MAXIMA TOLÉRÉE — Chemins de fer ordinaires. — POUR UNE INCLINAISON D'ENVIRON			Chemins de fer suspendus.	
	4,5°	6,5°	17,5°	26°	35,5°
m.	km : h.	km : h.	km : h.	km : h.	km : h.
10	10	12	20	25	30
40	20	24	40	50	60
90	30	36	60	75	90
160	40	48	80	100	120
250	50	60	100	125	150
360	60	72	120	150	180
490	70	84	140	175	210
640	80	96	160	200	
810	90	108	180		
1 000	100	120	200		
1 440	120	144			
1 960	140	168			
2 560	160	192			
3 240	180	216			
4 000	200				

Les essais de Deutz ont établi qu'une inclinaison de 26° ne troublait en rien la sécurité des voyageurs. Prenons cette valeur comme valeur limite ; il ressort du tableau que, à rayon de courbure égale, le chemin de fer suspendu a une vitesse 2,5 fois plus grande, ou, pour une vitesse donnée, il se contente d'un rayon égal au 1/6 de celui imposé aux chemins de fer ordinaires.

Sa supériorité sur les chemins de fer aériens est encore bien plus évidente. Ceux-ci, en effet, exigent une chaussée d'une largeur de 7 m, tandis que 4 m suffisent au chemin de fer suspendu. La vitesse maxima des trains urbains ne dépasse jamais 50 km à l'heure à cause du rapprochement des stations ; en se reportant au tableau précédent, on voit que les rayons de courbure ne devront pas être inférieurs à 40 m pour le chemin de fer suspendu et 160 m pour



des supports en forme d'arceaux, partant des trottoirs et également articulés à leur base. La distance des colonnes, dans la largeur des rues, est de 11,4 m ; l'arche transversale se

le chemin de fer aérien. Pour toutes ces raisons, le système Eugen Langen devient seul applicable dans un grand nombre de cas.

Nous rappelons, dans le tableau ci-après, les vitesses moyenne et maxima des chemins de fer urbains les plus connus, pour les comparer à celles du chemin de fer suspendu.

	LONGUEUR de la ligne.	NOMBRE des stations entre les points extrêmes.	DISTANCE moyenne des stations.	DURÉE des arrêts.	DURÉE du parcours total.	VITESSE moyenne.	VITESSE maxima.
	km.		m.	sec.	min.	km : h.	km : h.
Chemin de fer suspendu	13,3	20	900	15	30	36	50
Chemin de fer aérien de Berlin	14,29	10	1429	22	36	23,8	53
Chemin de fer élevé de New-York	13,62	26	525	17	43	19,1	31
Chicago, South Side	16,90	33	512	10	47	21,6	38
Chemin de fer élevé du port de Liverpool	10,45	16	653	11	30	20,9	48
Waterloo-and City Railroad, London	2,54	1	2540	—	6	25,4	45
City-and South London Railroad	5,07	5	1020	13	14	21,4	42
Métropolitain de Paris	10,66	16	625	10 à 15	30	21	30

Systèmes antérieurs. — Les différents systèmes de chemins de fer dits « monorail » avec véhicules guidés, mais sans suspension libre comme dans le système Langen, peuvent être divisés en trois catégories :

1° Chemins de fer avec véhicules guidés dont le centre de gravité est au-dessus de la voie,
2° » » » sur le côté de la voie,
3° » » » au-dessous de la voie.

La première catégorie appelée ordinairement système « Lartigue » est représentée en figure *a*. Le poids du véhicule est supporté par le rail supérieur central. Les rails horizontaux placés sous la voiture ne reçoivent de pression que lorsque la charge n'est pas équilibrée ou par l'action des forces latérales, surtout dans les courbes. Mais cette pression peut devenir en certains cas si considérable qu'elle soumet la construction de la voie à de grands efforts de torsion. Il est vrai qu'on peut incliner la voie dans les courbes, mais cette inclinaison devrait varier suivant les vitesses, ce qui est naturellement impossible et de plus le passage de la voie droite à la voie courbe prend une forme hélicoïdale.

Nous croyons que ce système fut proposé pour la première fois par l'anglais Robinson Palmer. En 1826, un modèle exposé au jardin du musée à Elberfeld, amena la formation d'une Société d'exploitation qui avait pour but la construction d'une voie pour le transport du charbon entre Barmen et Elberfeld. Depuis lors, le système a été souvent employé avec des changements plus ou moins importants. Les plus connus, d'après l'époque de leur publication, sont les systèmes : Fell-Haddon, Le Roy-Stone, Lartigue, Decauville, Meigs et Behr. La plupart de ceux-ci se composent de trois rails, un rail portatif et deux rails latéraux comme guides. Quelques-uns, par exemple, le « Meigs », emploient quatre rails, deux rails portatifs et deux rails guides ; le système « Behr » enfin, emploie même cinq rails pour chaque voie, c'est-à-dire un rail portatif et quatre rails guides. Dans le premier chemin de fer d'essai construit pour l'Exposition de 1897, à Bruxelles, par Behr, un seul véhicule n'avait pas moins de 40 roues et galets.

A cette première catégorie appartient aussi le système « Beyer », (fig. *b*). Dans ce système, le centre de gravité se trouve aussi au-dessus du rail portatif, mais les rails guides ne sont pas disposés en dessous du rail portatif sur une poutre commune comme dans le système Lartigue, mais au contraire fixés sur une autre poutre au-dessus du véhicule.

Si l'on compare ce système avec le système Lartigue, cette division de la construction de la voie ne peut pas être considérée comme une simplification ni une économie, parce que les deux poutrelles séparées coûtent beaucoup plus cher qu'une seule.

La deuxième catégorie, dans laquelle le centre de gravité se trouve à côté des rails, est probablement d'origine plus récente. A l'Exposition de Chicago, en 1893, un petit modèle comme figure *c* était montré en mouvement par Cook de Tacoma, et au commencement de 1895, le professeur Dietrich de Berlin essayait de faire concurrence

***

raccorde, avec la partie verticale des piliers, suivant un quart de cercle de 3,75 m de rayon ; elle s'élève en général à 6,86 m au-dessus du sol. Toutes les colonnes n'ont pas la même hauteur, et, comme on a pris les plus longues pour modèles, il en résulte qu'elles sont d'autant plus larges à leur base que leur hauteur est moindre. La largeur du bâti qui reçoit le pied varie, par suite, entre 330 et 440 mm. Ce n'est donc que par la longueur de la partie verticale et quelques accessoires de construction que les supports diffèrent les

---

aux projets de Langen avec une modification de la voie comme figure *d*. L'influence des forces latérales et des courbes sur les véhicules suspendus excentriquement est la même que sur les véhicules de la première catégorie. Il en est de même pour la troisième catégorie, dont nous citons seulement ici le système « Enos » (fig. *e*) et le système « Perlay-Hale » (fig. *f*).

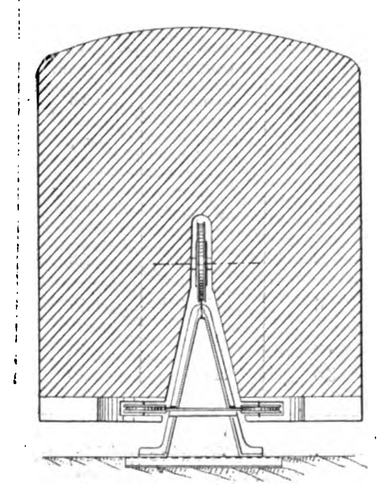


Fig. *a*. — Système Lartigue (Behr).

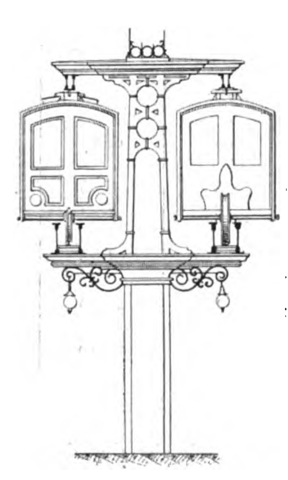


Fig. *b*. — Système Beyer.

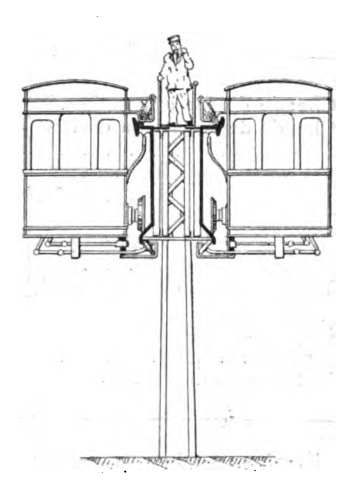


Fig. *c*. — Système Cook.

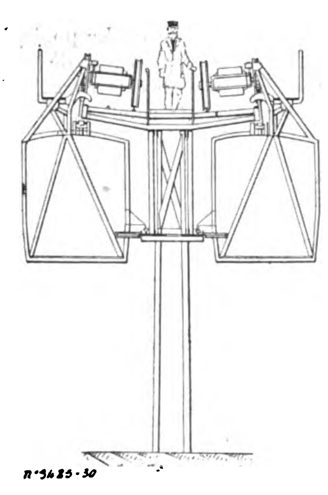


Fig. *d*. — Système Dietrich.

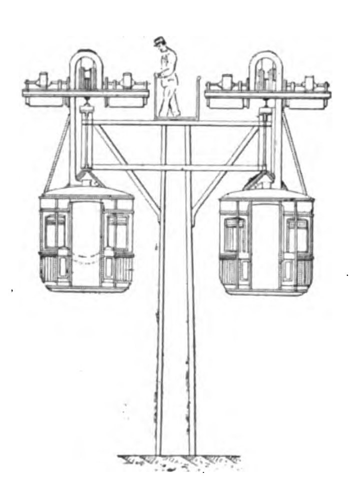


Fig. *e*. — Système Enos.

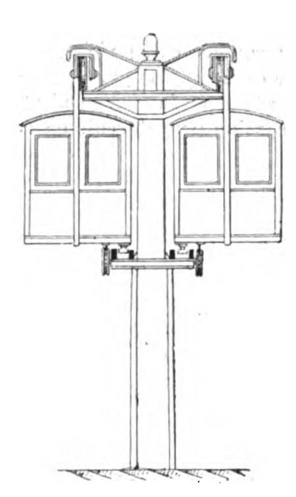


Fig. *f*. — Système Perlay-Hale.

Dans le système « Enos », le véhicule est supporté en dessus et guidé en bas par la semelle de la même poutrelle au moyen de deux galets au-dessus, et dans le système « Perlay-Hale » par un galet fixé en dessous des véhicules et roulant entre deux rails-guides.

Aucun des projets que nous venons de résumer rapidement ne constitue un chemin de fer suspendu, avec libre balancement du véhicule, tel que l'a conçu Eugen Langen.

uns des autres. La figure 6 est une vue d'une rue de Sonnborn, et la figure 7 représente en détail la construction du support. La chaussée n'est nullement encombrée; les retombées des arceaux n'occupent guère plus de place sur les trottoirs que les reverbères ou les mâts supportant les conduites électriques, qui peuvent d'ailleurs se fixer aux arceaux. Une semblable disposition des piliers est tout à fait avantageuse dans les rues plantées d'arbres. Les piliers peuvent être fixés dans l'alignement des arbres de telle sorte qu'ils n'enlèvent rien à la circulation et ne frappent pas la vue. Les supports arceaux ne sont plus à âmes ajourées, mais pleines. La libre oscillation des piliers leur permet de se déplacer dans le sens de la voie, dont la dilatation peut s'effectuer librement. Tous les 200

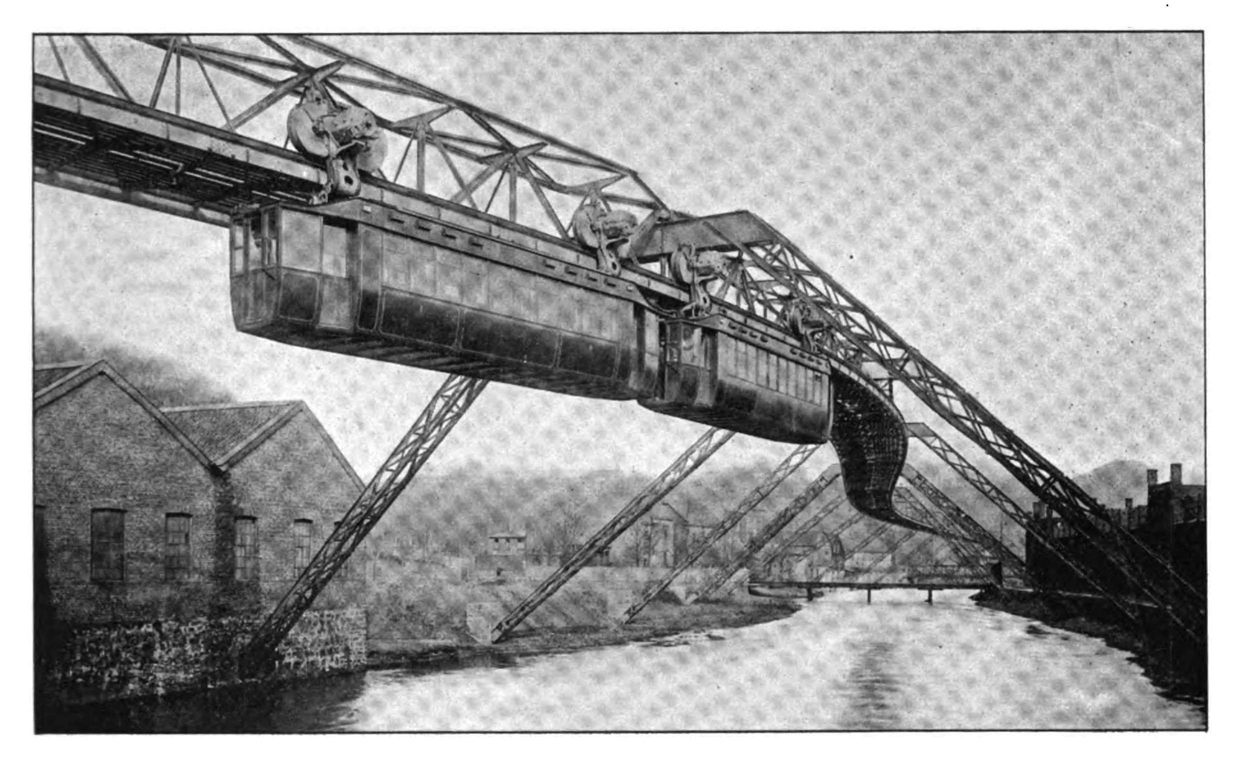


Fig. 4. — Chemin de fer suspendu de Barmen-Elberfeld : Vue d'une palée le long de la Wupper avec piliers à treillis.

ou 300 m sont disposés, tant sur les bords de la rivière que dans les rues, des pylônes plus importants absolument fixes, à partir desquels la voie peut s'allonger dans les deux directions ; au milieu de l'espace compris entre deux pylônes fixes, on a ménagé un raccordement pour compenser le vide qui se produit.

Pour franchir la distance qui sépare la Wupper de la route, c'est-à-dire, à trois kilomètres avant l'arrivée à Vohwinkel, les supports sont formés de 2 potences verticales, avec poutre transversale qui se prolonge extérieurement par une solide console à laquelle est suspendu tout l'édifice métallique.

Le genre de pilier qu'on voit figure 1 n'a pas été utilisé pour le chemin de fer d'Elberfeld, bien que son aspect soit d'ailleurs très élégant ; il convient surtout pour la traversée des places dans les villes. Pour tout le réseau, il n'a pas fallu moins de 550 supports ; le montage a pu être effectué, soit au moyen d'échafaudages établis dans le lit du fleuve, soit avec longrines sans échafaudages.

Viaduc métallique. — L'édification de la superstructure métallique présentait, au double point de vue de l'esthétique et de la solidité, les plus grandes difficultés.

La partie de la ligne qui traverse les rues des villes exigeait une construction claire et légère pour laisser un libre accés à l'air et à la lumière. Ce but est atteint, grâce à un système de support breveté, sous le n° 91642 par la Vereinigte Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg, mais dont l'invention revient au directeur Rieppel. Le viaduc métallique qui porte les voies est formé de poutres en caissons à treillis. Ces supports résultent de la combinaison de supports élémentaires tel que celui représenté en ses

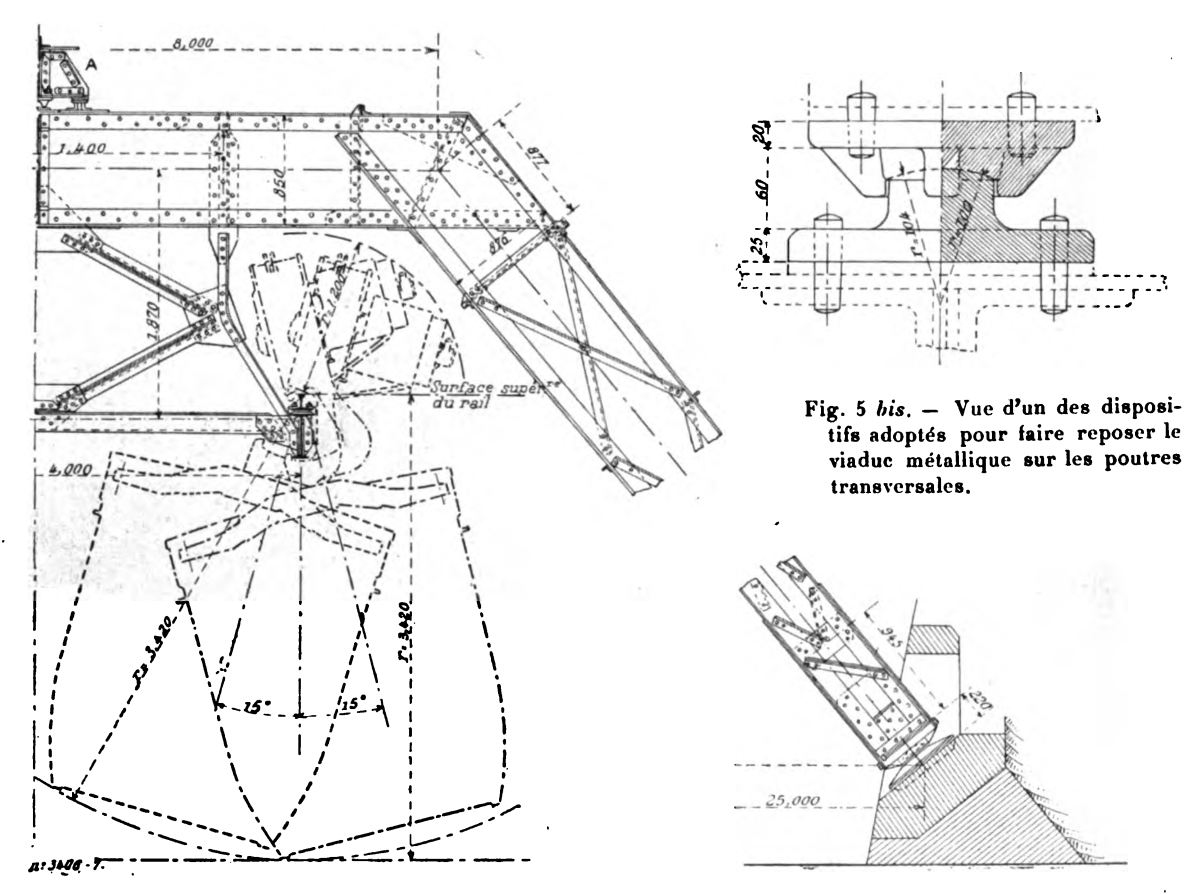


Fig. 5 *bis.* — Vue d'un des dispositifs adoptés pour faire reposer le viaduc métallique sur les poutres transversales.

Fig. 5. — Détails d'un pilier à treillis et d'une voiture suspendue.

diverses formes par les figures 8, 9 et 10. Le support élémentaire *c, d, a, b, e, f*, a la forme d'un double T. Toutes les forces verticales sont supportées par la poutre *a, b*, qui est renforcée par les poutres horizontales *c, d* et *e, f* qui la font résister aux forces latérales et empêchent qu'elle soit faussée. Une particularité de cette construction, grâce à laquelle on économise du fer, consiste en ce que la membrure supérieure de la poutre *a, b* est supprimée, car elle se confond entièrement avec les deux membrures extérieures *c* et *d* de la poutre horizontale supérieure *c, d;* la membrure inférieure de la poutre *a, b*, par contre est une membrure faite comme à l'ordinaire. Les membrures de la poutre horizontale inférieure *e, f* sont formées par les porte-rails *e* et *f*. Les forces verticales agissant en *e* et *f* sont reportées sur la poutre verticale *a, e*, par les tirants *a, e* et *a, f*. Dans les courbes, la poutre *a, b* et la poutre horizontale supérieure *c, d* sont identiquement les mêmes que dans

la ligne droite et il n'y a que les porte-rails *e* et *f* qui soient modifiés avec leurs tirants (fig. 9). Les supports élémentaires successifs sont reliés entre eux, dans les plans supérieur et inférieur, par des poutres de rive formées respectivement de deux cornières ou d'une poutre à double T supportant le rail. Des treillis en forme de croix de Saint-André sont établis horizontalement, dans les plans des poutres de rive entre deux supports consécutifs. Ceux-ci sont d'abord reliés, dans l'axe du viaduc, par de solides écharpes. Les rails à couvre-joints du système Haarmann sont fixés sur les poutres de rive, au moyen de platines et de plaques de feutre destinées à amortir le bruit des convois. Ces rails ont une hauteur de 15 mm, une longueur de 15 m, et pèsent 24 kg par mètre. Ils ne sont pas fixés d'une manière rigide à leur support; on s'est arrangé pour qu'ils puissent légèrement

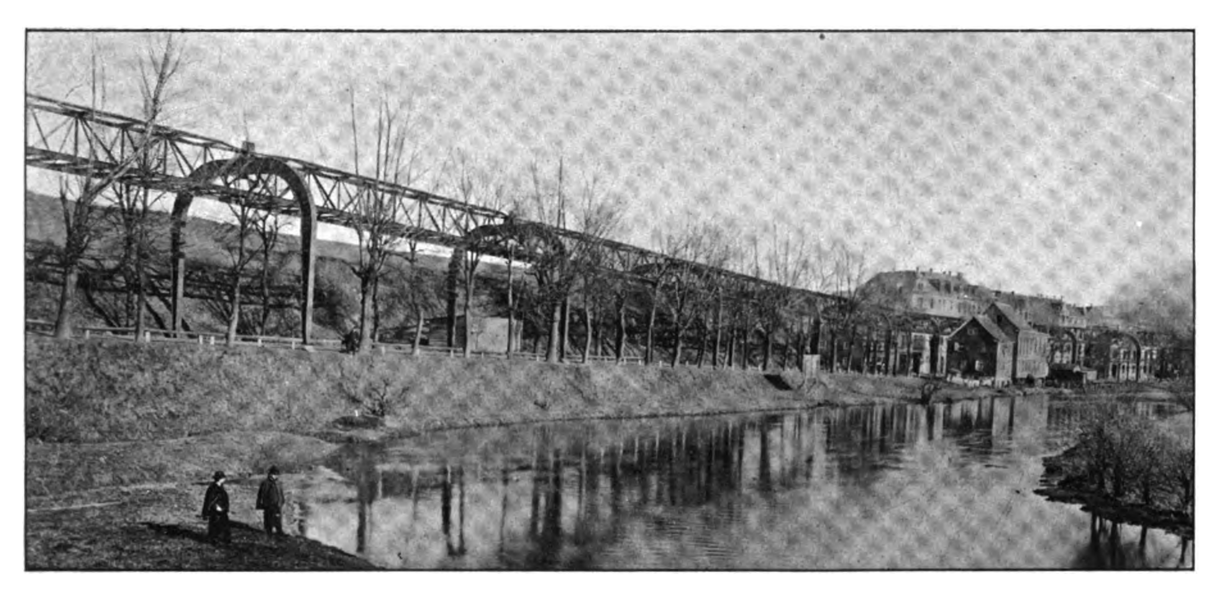


Fig. 6. — Chemin de fer suspendu de Bermen-Elberfeld : Vue d'une portion de voie avec supports en forme d'arceaux au voisinage de Sonnborn.

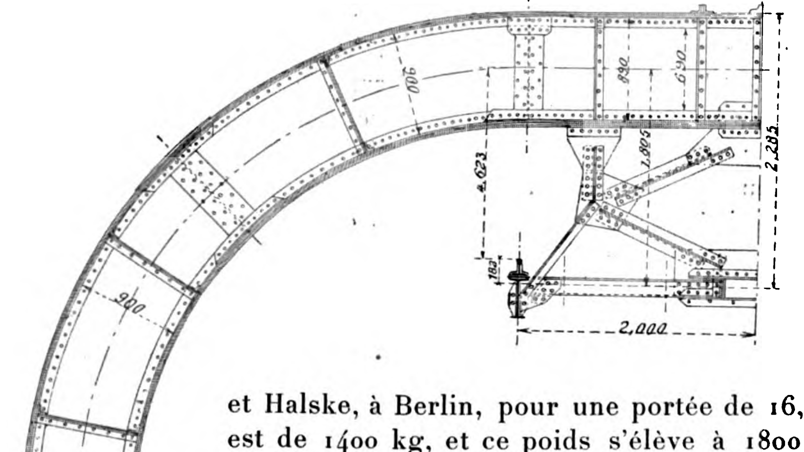
glisser sur leur assise métallique et suivre ainsi les variations de longueur provenant de la dilatation. Il n'était pas possible, en effet, à cause de la continuité exigée pour la voie, d'y pratiquer une coupure correspondant aux vides dont le rôle a été expliqué plus haut.

Les poutres en caisson, résultant de la combinaison des supports élémentaires, ont une longueur moyenne de 30 m. Elles reposent par leurs abouts sur les poitrails transversaux des pylônes qui soutiennent, en définitive, le tablier métallique de la voie. On voit en A, fig. 5, un des dispositifs adoptés pour faire le raccordement du viaduc avec la poutre transversale ; celui représenté en fig. 5 *bis* est surtout appliqué aux pylônes fixes.

Cette sorte de construction, où il ne se trouve qu'une poutre verticale, fait que la perspective de la voie est légère et claire (voir fig. 1, 4 et 6), tandis que les constructions en fer exécutées avec plusieurs poutres principales, ont presque toujours un aspect embrouillé et indistinct à cause des nombreux fers qui se croisent irrégulièrement.

Entre les deux rails, on peu facilement installer un passage permettant l'inspection de la voie. Suivant la position de la voie on peut choisir, soit une couverture étanche au-dessus des rues fréquentées, soit une couverture moins obscurcissante laissant filtrer l'eau. Sur la ligne de Barmen-Elberfed-Vohwinkel, on a recouvert la partie située entre les deux rails, de planches ou de lattes sur une largeur de 2 m.





Le poids total de fer, y compris les colonnes, n'est que de 1140 kg par mètre courant sur le parcours au-dessus de la Wupper et de 1065 kg sur le parcours au-dessus de terre ; ces chiffres sont de beaucoup inférieurs à ceux des chemins aériens ordinaires ; par exemple, le poids du chemin de fer aérien électrique de MM. Siemens et Halske, à Berlin, pour une portée de 16,50 m sans matériel de voie, est de 1400 kg, et ce poids s'élève à 1800 kg pour une portée de 21 m. La construction du chemin de fer suspendu est donc beaucoup plus économique.

Les aiguilles. — Les deux voies du chemin de fer suspendu sont réunies aux points extrêmes Rittershausen et Vohwinkel, par deux rails en demi-cercle de 8 m de rayon et forment ainsi un anneau ininterrompu dont aucune partie n'est mobile. Pour amener les voitures sur la voie principale ou les en écarter, il faut donc recourir à des aiguilles ; en particulier, celle installée au Jardin Zoologique d'Elberfeld pour permettre à une partie des véhicules de retourner en arrière sans être obligés d'aller à Vohwinkel, présente des détails de construction très intéressants.

Les roues qui courent sur le rail ont un double mentonnet de 30 mm et, de plus, un bec de sûreté *a*, dont le rôle est indiqué plus loin (fig. 20), déborde légèrement sur le bourrelet intérieur. L'aiguille doit donc être constituée de telle sorte que la roue et les accessoires soient soulevés au-dessus du rail principal pour pouvoir le franchir. On utilise pour cela une aiguille pivotante qui se raccorde avec la voie par un arc de cercle de 8 m de rayon (fig. 11). Elle est munie, du côté de la bifurcation, d'une gorge destinée à recevoir le mentonnet correspondant et s'élève graduellement au-dessus de la voie (fig. 12) par une courbe de 30,25 m de rayon jusqu'à une hauteur de 7,5 mm qui est suffisante pour dégager le deuxième mentonnet et les accessoires. A partir de ce point, la ligne d'évitement s'incline en sens inverse suivant une pente de 4,5 p. 100 sur une longueur de 60 m pour passer ensuite sous le réseau principal. La circulation n'est donc nullement gênée par les trains qui empruntent la voie d'évitement. De l'autre côté, symétriquement à l'axe de la voie, se dresse une construction semblable ; les deux parties sont réunies par un rail en demi-cercle de 8 m de rayon qui constitue le tournant proprement dit.

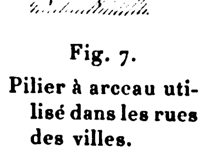


Fig. 7.
Pilier à arceau utilisé dans les rues des villes.

Le viaduc métallique de l'embranchement repose sur les supports mêmes de la voie ; seulement on a donné à ces derniers (n°s 220, 221, 222, 223) une largeur de 14,3 m. Entre les supports 220 et 221 est comprise l'aiguille ; ils sont écartés de 8 m et reliés entre eux exactement dans l'axe de la voie. La distance entre les n°s 221 et 222, 222 et 223 est de 30 m. L'aiguille, au repos, est soutenue par son pivot et, à deux mètres de ce point, par un

bras recourbé en acier, réuni au train d'engrenages de l'appareil de manœuvre. En service, ces points d'appuis sont renforcés par deux tiges fixées à la voie principale et visibles, avec les ouvertures qui leur correspondent, sur la fig. 13 qui est la photographie prise d'en dessous d'une aiguille ouverte d'un côté et fermée de l'autre. Enfin, l'aiguille porte à son

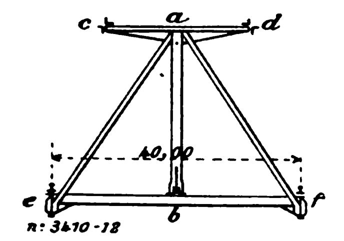


Fig. 8. — Section en voie droite.

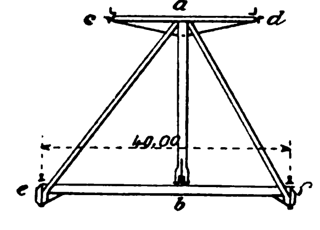


Fig. 9. — Section en voie courbe.

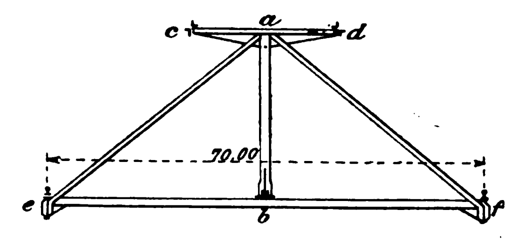


Fig. 10. — Section dans les stations avec quai de milieu.

extrémité deux projections qui s'enfoncent dans les poutres de rive où elles sont maintenues par une fermeture à baïonnette.

La figure 14 est une vue d'ensemble de cette installation ; on y remarque deux appendices qui sont les amorces d'une voie de garage qui sera installée ultérieurement sur le prolongement de la ligne actuelle. Pour y accéder ou en sortir, on se servira d'aiguilles analogues aux précédentes ; elles n'en différeront que par la courbure du rail contre-aiguille. Ce dis-

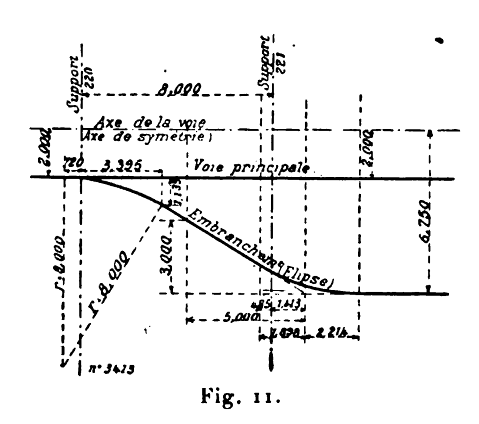


Fig. 11.

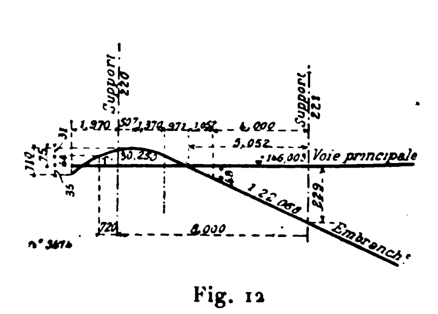


Fig. 12

positif est également appliqué à la station de Vohwinkel où se trouvent une remise de voitures et une gare de manœuvres. La remise aux véhicules a 8 voies dont 6 sont reliées entre elles à leurs extrémités. Ces voies sont reliées par 4 au moyen d'une aiguille pivotante *a*, *b* ou *c*, *d* et d'un rail en demi-cercle (fig. 15). On peut dès lors, d'une voie quelconque de la remise, parvenir à une voie de l'autre côté, sans manœuvrer en arrière. La remise et l'installation de triage sont reliées aux voies principales par les aiguilles *e*, *f*, *g*, *h*. En général, les voitures rentrent le soir par les aiguilles *f* et *e* dans la remise et la quittent le lendemain par les aiguilles *g* et *h*.

En cas d'accident à l'une de ces deux voies d'aiguillage, on peut employer les deux autres aiguilles pour la rentrée et la sortie des voitures. Les véhicules sont ainsi rangés au premier étage de la remise.

Au rez-de-chaussée se trouvent les voitures des lignes de tramways électriques qui aboutissent en ce point, et des ateliers communs aux deux services. Un ascenseur permet

de descendre dans l'atelier les voitures du chemin de fer suspendu et de monter de nouvelles voitures sur la voie.

Rail de contact. — Le courant est pris sur un rail de contact *e*, au moyen d'un sabot de glissement *g* muni d'un ressort à boudin (voir plus loin fig. 19); après bien des essais avec du cuivre profilé et du cuivre en barres cylindriques, on a choisi un conducteur en fer présentant exactement l'aspect des rails de chemin de fer à voie étroite, de 40 mm de hauteur, 500 mm² de section et 10 m de longueur pour réduire autant que possible le nombre des joints. L'éclissage mécanique est constitué par deux plaques métalliques qui épousent exactement la forme du rail et se raccordent en s'amincissant de plus en plus sur le cham-

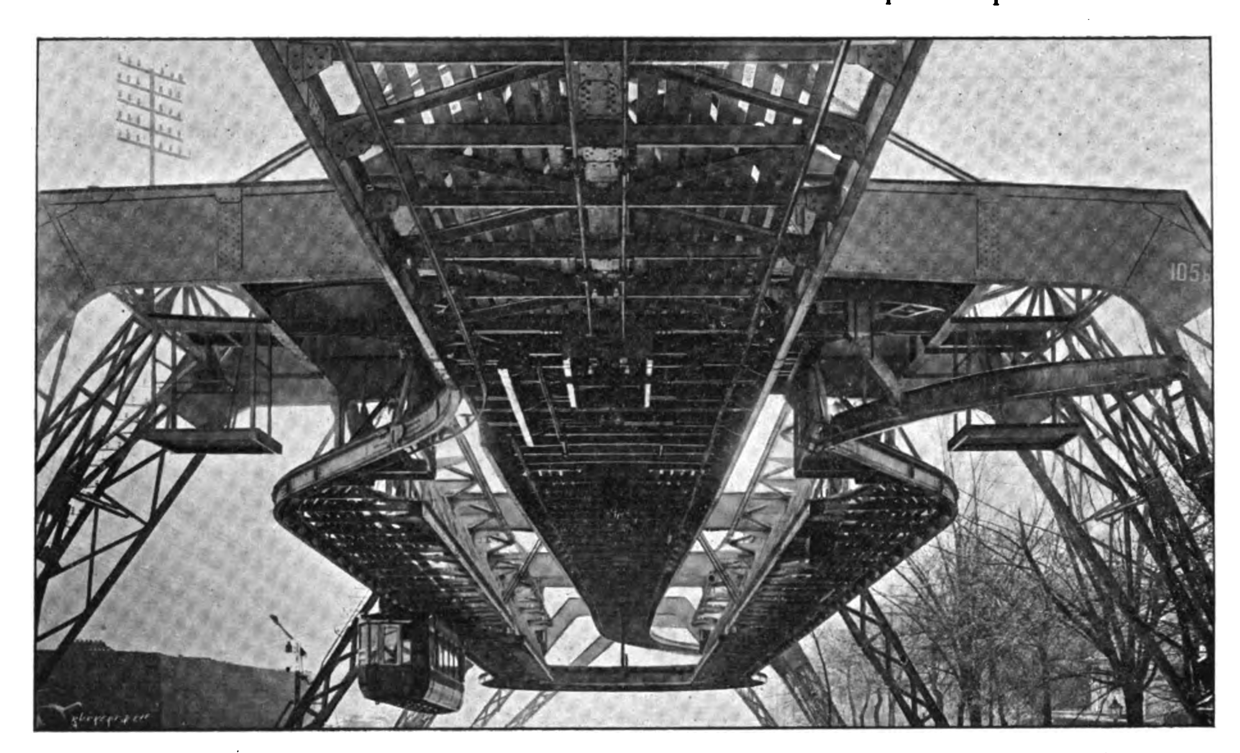


Fig. 13. — Photographie prise en dessous de la voie montrant la station d'évitement et l'aiguille du Jardin Zoologique d'Elberfeld.

pignon lui même ; le passage du frotteur n'est nullement gêné par cet accessoire. L'éclissage électrique comprend deux tiges de cuivre de 8 mm de diamètre terminées par des coins qui s'enfoncent dans l'âme du rail. La courbure des tiges est calculée pour laisser toute liberté à la dilatation du rail de contact. Des précautions particulières sont prises pour assurer la continuité électrique de ce dernier aux vides ménagés au milieu de chaque travée. Le courant est amené en divers points des rails de contact au moyen de conducteurs dérivés de deux conducteurs principaux, de 75 mm² de section, logés dans une sorte d'auget, dans l'axe du viaduc et à sa partie inférieure. Si on prend une épaisseur de cuivre de conductibilité équivalente à celle du rail de contact, on voit que l'ensemble des conducteurs présente une section de 235 mm². Le rail de contact est accroché solidement aux entretoises du viaduc métallique dont il est isolé électriquement ; il est aussi protégé contre la pluie. On lui a donné une inclinaison telle que la surface du patin fait un angle d'à peu près 30° avec la verticale ; cet artifice de construction était nécessaire à cause de la forme spéciale du frotteur en prise avec le champignon du rail, et aussi à cause du balancement de la voiture.

Sur tout réseau de traction électrique, il est important de pouvoir localiser le plus rapidement possible les défauts ; à cette effet, on a installé, à chaque station du chemin de fer suspendu et sur chacun des conducteurs principaux, séparés dès leur départ du centre de distribution, un interrupteur de section. Nous reviendrons prochainement sur ce dispositif.

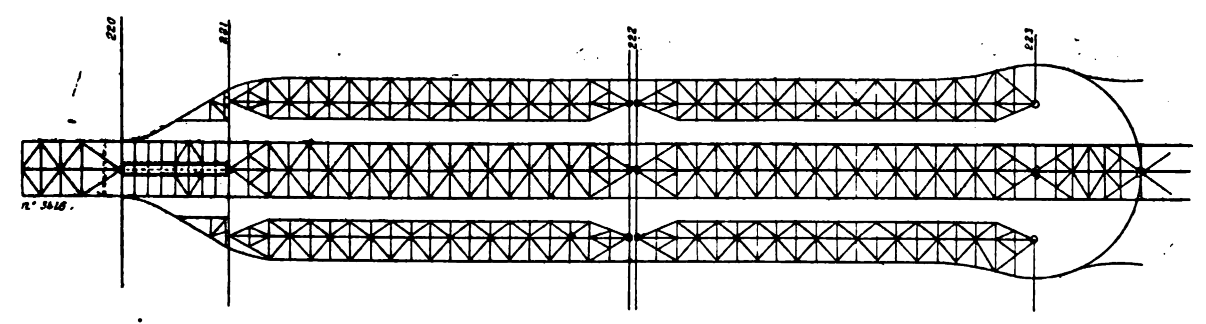


Fig. 14. — Plan d'ensemble de la gare de retour du Jardin Zoologique d'Elberfeld.

Stations. — Les bâtiments sont, à peu près sans exception, construits sur un modèle unique, tel que celui représenté par la fig. 16 qui est la photographie de la gare de la « Breite Strasse ». On établit, entre un pylone fixe et un support oscillant, deux poutres en treillis reliées à leurs extrémités par des entretoises. Sur ces poutres reposent la ferme du hall ainsi que toute la charpente métallique des quais et des escaliers auxquels on accède par des passerelles jetées en travers de la rivière. Les fig. 17 et 18 sont des coupes en long et en travers d'une gare. On remarque que les murs sont constitués par des cloisons vitrées

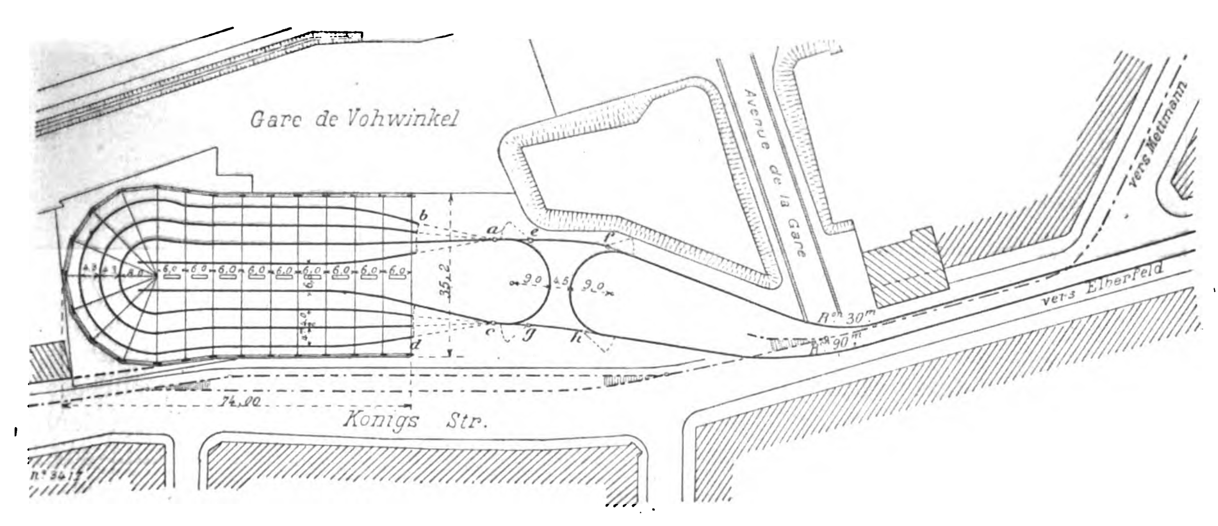


Fig. 15. — Gare de remisage et de triage à Vohwinkel.

qui s'étendent jusqu'à 1,20 m au-dessus du quai. On substitue au verre, dans les parties inférieure et supérieure, des plaques de tôles de 4 mm d'épaisseur.

A l'exemple des chemins de fer élevés de Berlin, New-York, etc., on a préféré les quais d'embarquement extérieurs aux voies. Ce dispositif exige un personnel plus nombreux, mais il offre certains avantages qui compensent largement ce surcroît de dépense. Le plancher des quais est formé de solides madriers de 45 mm d'épaisseur ; dans certaines stations,

****



on les a recouverts d'un lit bitumé étanche destiné à protéger les bureaux installés au rez-de-chaussée. Là largeur des quais est de 3 à 3,50 m ; celle des gares de 12 à 13 m ; la partie couverte permet d'abriter deux voitures, ce qui correspond à une longueur de 25 m. Sur le pourtour des quais sont élevés des parapets pour éviter les accidents ; dans le même but, on a disposé sous la voie un grillage en fil de fer. Le public est guidé vers les portes des wagons par des barrières et l'accès en est rendu facile, grâce à l'ingénieuse combinaison suivante. En bordure des quais, on a installé une solive en bois de 50 cm de largeur dont la surface est taillée suivant la forme même des voitures ; celles-ci sont munies à leur partie

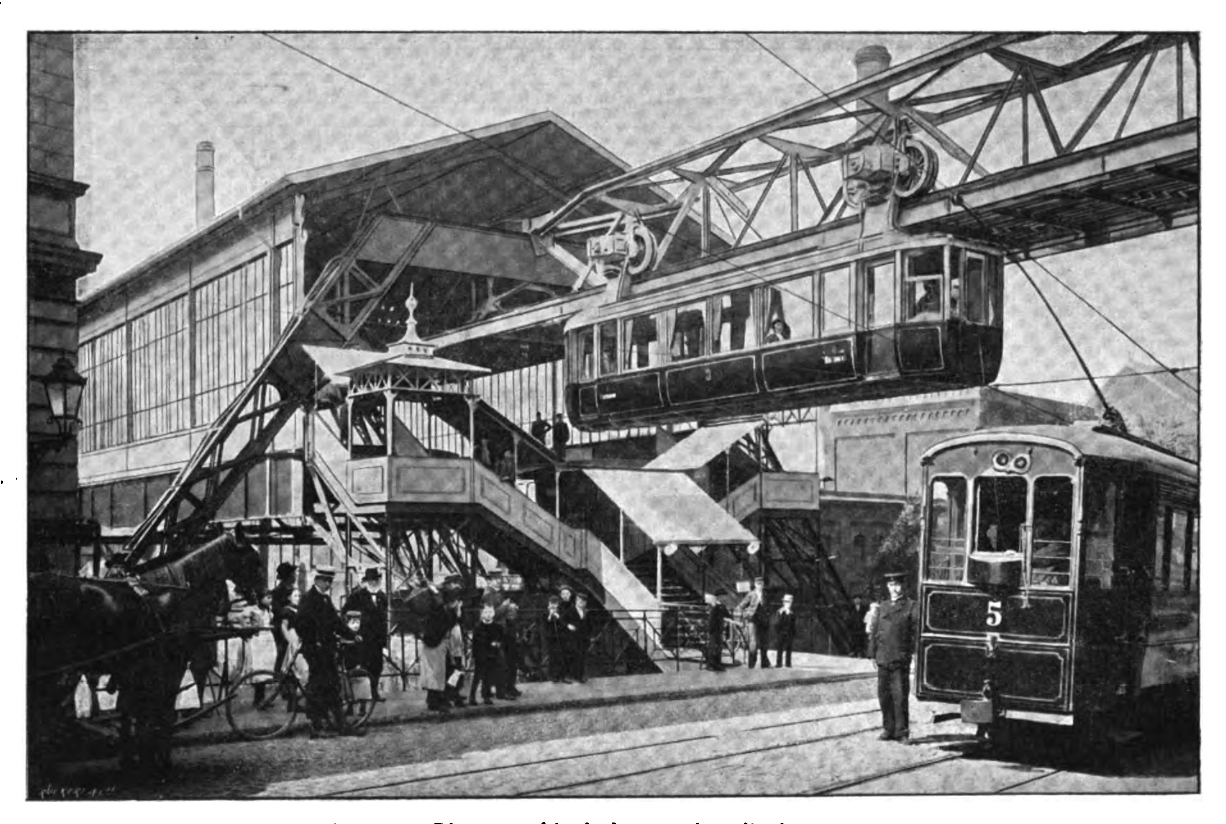


Fig. 16. — Photographie de la gare de « Breitesstrasse ».

inférieure d'un solide ressort qui vient s'appuyer sur la solive, empêchant ainsi toute oscillation pendant l'entrée ou la sortie des voyageurs. Du quai à la voiture, la hauteur est de 20 cm. Dans les petites gares, les côtés perpendiculaires à la voie sont complètement ouverts et protégés par un simple parapet. La station de Döppersberg construite sur les plans de l'architecte Bruno Möhring, de Berlin, est d'un style plus recherché.

Voitures. — *Suspension.* — Les voitures, sorties des ateliers Van der Zypen et Charlier, de Deutz, réalisent une des innovations caractéristiques de ce système de chemin de fer.

Chaque voiture est suspendue au moyen de deux châssis pivotants qui permettent le passage dans les courbes brusques. La distance séparant les châssis pivotants est de 8 m. Les roues dont les mentonnets doivent embrasser le rail sont montées sur deux axes de ces châssis. Chaque paire de roues est actionnée par un moteur électrique.

La transmission du mouvement du moteur à chacune des roues se fait par engrenages,

au moyen d'un pignon monté sur l'axe du moteur en prise avec deux couronnes dentées solidaires des roues.

Le châssis de suspension se termine, à la partie supérieure (fig. 19 et 20), par deux

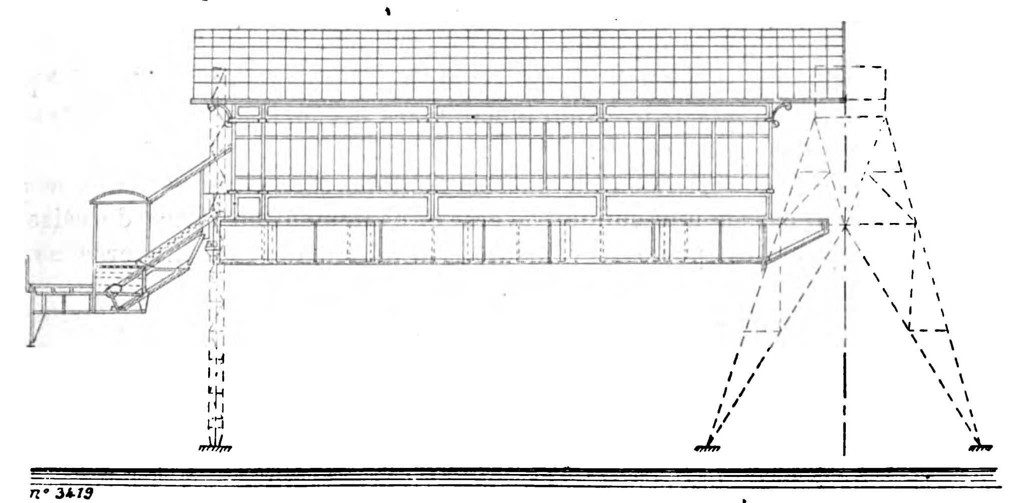


Fig. 17. — Coupe en long d'une gare.

plaques en tôle de fer et cornières, renforcées par une partie médiane, en acier coulé, qui sert de palier à l'arbre du moteur. Les axes des roues reposent de même sur des paliers en acier, avec coussinets en bronze. Ces divers paliers sont munis de dispositifs de graissage. Tous les organes de la transmission du mouvement sont complètement enveloppés et mis à l'abri de la poussière.

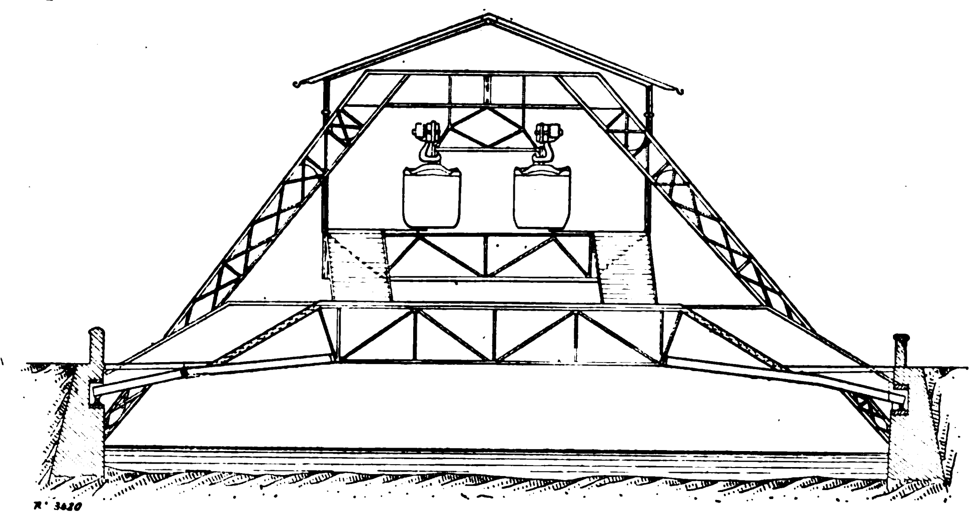


Fig. 18. — Coupe en travers d'une gare.

Au-dessous du palier du moteur le châssis r affecte la forme générale d'un crochet. Il est constitué par un caisson formé de deux tôles épaisses placées transversalement à la voie et maintenues entre de fortes membrures courbes $r' r''$. Ce châssis se prolonge au-dessus du rail en formant patin et se termine par un bec de sûreté a, qui déborde légèrement sur le mentonnet de la roue. Ce dispositif permet, en cas de rupture d'un axe ou d'une roue, de faire reposer aussitôt le châssis sur le rail, sans qu'il y ait à redouter la chute du wagon.

Le châssis se relève ensuite horizontalement et contourne le longeron *t* qui supporte la voie *s*, de telle sorte que l'inclinaison du véhicule ne puisse dépasser 15°. Ce résultat est dû à l'adaptation au-dessus de la branche horizontale du châssis, d'une tôle *b* qui se trouve à 7 mm au-dessous du longeron. Ce faible jeu rend impossible tout déraillement du véhicule, les mentonnets des roues ayant une hauteur de 30 mm.

Le châssis se termine par une partie droite verticale, renforcée à son extrémité par deux fers en U. C'est en ce point que se trouvent installés les organes qui permettent aux roues et au châssis de pivoter par rapport à la voiture.

En effet, les membrures verticales du châssis sont percées chacune d'une ouverture. Par ces ouvertures peut passer une solide traverse *c*, également en forme de caisson, par l'intermédiaire de laquelle est porté le véhicule. Au milieu de cette traverse se fixe un

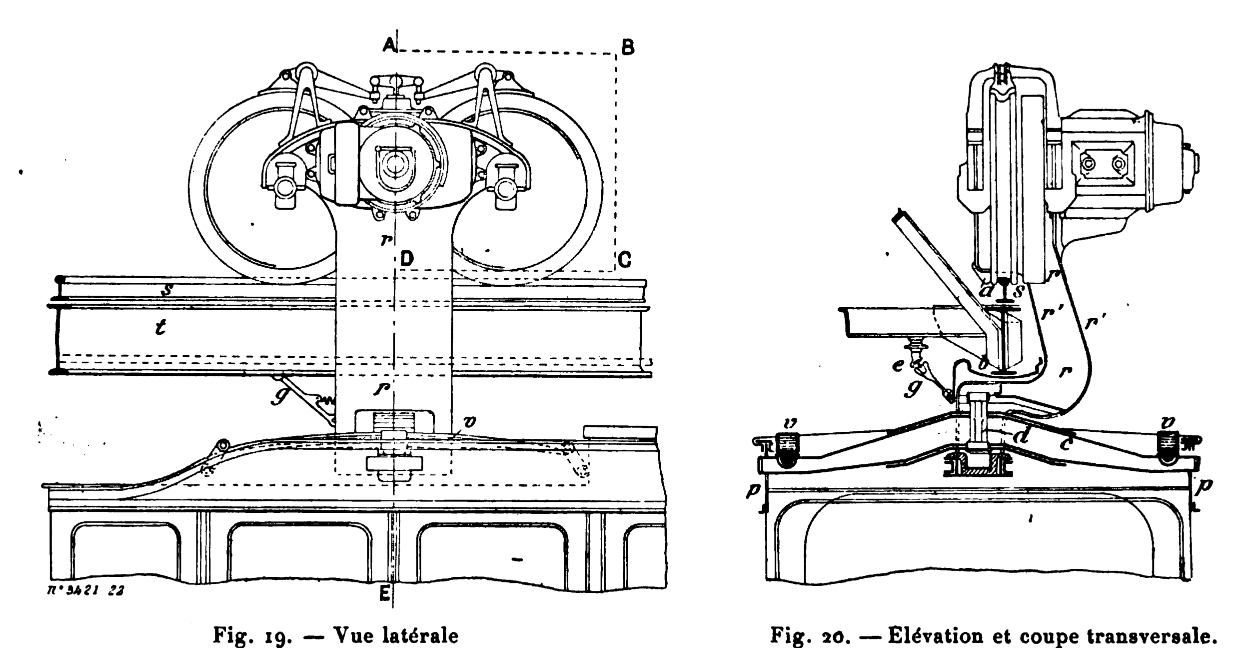


Fig. 19. — Vue latérale

Fig. 20. — Elévation et coupe transversale.

Fig. 19 et 20. — Dispositif de suspension d'un véhicule.

pivot *d*, en acier, qui peut reposer sur une crapaudine solidaire du châssis et être guidé à la partie supérieure dans un collier. On conçoit dès lors comment le châssis peut prendre dans les courbes diverses orientations par rapport au véhicule.

En cas de rupture du pivot, la traverse vient simplement reposer sur les fers en U du châssis, la voiture ne peut tomber.

Les abouts des traverses de support passent par des ouvertures pratiquées dans de fortes poutres longitudinales *p* qui constituent l'ossature de la voiture, à sa partie supérieure. Toutefois ces poutres ne reposent pas directement sur les extrémités des traverses. L'appui se fait élastiquement, par l'intermédiaire de ressorts à lames *v*, à jumelles.

Les poutres longitudinales et les traverses ne viennent en contact qu'en cas de rupture du ressort.

Caisse. — Les poutres longitudinales supérieures de la voiture sont reliées par des montants en fers en U à un cadre inférieur, également en fers en U, au-dessus duquel vient se placer le plancher.

Les parois du véhicule sont formées de feuilles de tôle rivées sur les membrures prin-

cipales. Les divers panneaux sont, d'ailleurs, pourvus de contreventements; transversalement à la voiture, les contreventements sont obtenus par les membrures près des portes.

En résumé, toute l'ossature de la voiture est métallique; il n'y a que les revêtements intérieurs qui soient en bois.

Le toit de la voiture est surélevé dans sa partie médiane, entre les deux points de suspension. Le cadre de cette toiture est métallique; la couverture est faite en bois dans la partie médiane et en feuilles de tôle aux extrémités. A l'intérieur, le plafond est recouvert de boiseries; en certains points se trouvent des orifices de ventilation.

Il existe deux portes latérales qui s'ouvrent vers l'intérieur et servent seulement à l'entrée et à la sortie des voyageurs. Ces portes, ainsi que celles des extrémités, sont toujours fer-

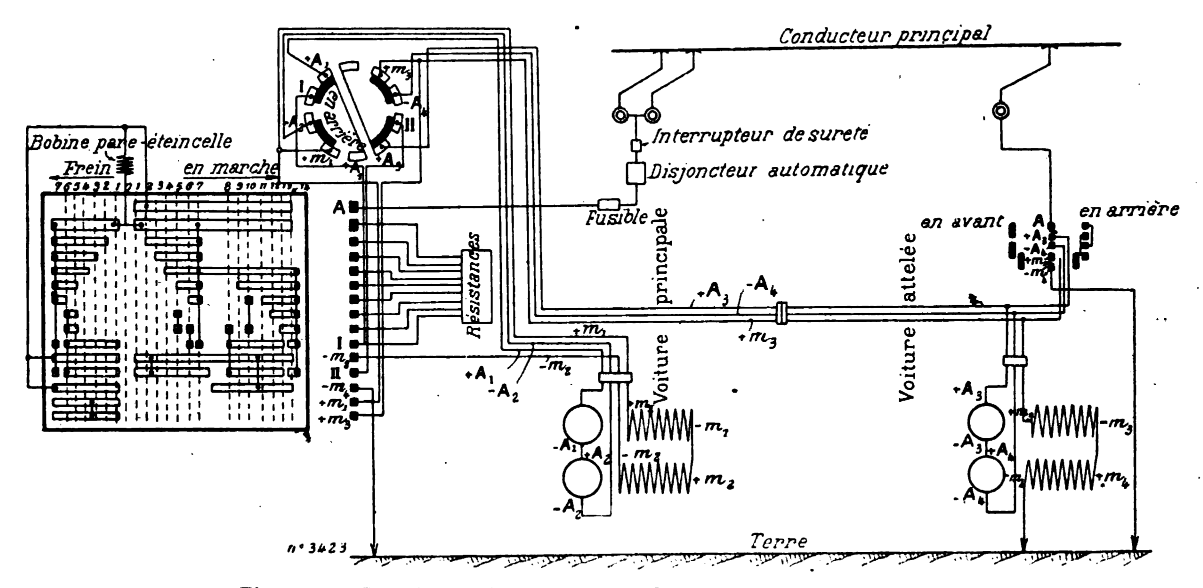


Fig. 21. — Régulateur de mise en marche pour voitures suspendues.

mées et pourvues d'une serrure dont la clef est entre les mains du conducteur. Dans la paroi opposée aux portes latérales et vis-à-vis de l'une de ces portes, un panneau mobile peut être ouvert, le cas échéant, par le conducteur pour permettre de passer d'un train dans un autre. Les glaces des fenêtres voisines des extrémités de la voiture peuvent s'abaisser.

Chaque voiture peut contenir cinquante voyageurs dont trente sont assis; les banquettes sont disposées transversalement, de part et d'autre d'un passage. Le conducteur, placé à l'avant, est complètement isolé du compartiment des voyageurs. Les voitures peuvent être accouplées les unes aux autres à hauteur de la toiture, pour former des trains.

Equipement électrique. — La puissance normale de chacun des moteurs précédemment définis est de 36 chevaux avec une tension aux bornes comprise entre 580 ± 30 volts.

On peut faire varier leur puissance en les couplant en série ou en parallèle ou en intercalant des résistances. Ces diverses commandes se font, dans le cas de plusieurs véhicules accouplés, de l'avant du premier véhicule (fig. 21). Les mécanismes de régulation sont pourvus des dispositifs de sûreté ordinaires. Les résistances nécessaires sont placées sur le toit de la première voiture.

Le réglage de la marche, peut d'ailleurs, le cas échéant, s'obtenir séparément sur cha-

cun des véhicules. La figure 21 est le schéma du contrôleur; la partie de gauche se rapporte à la voiture de tête, celle de droite à une voiture attelée, qui est aussi munie des accessoires pour la mise en marche.

Le courant est pris sur le rail de contact *e*, au moyen du sabot de glissement *g* muni d'un ressort à boudin (fig. 19). Dans le cas d'un train, le premier wagon est seul alimenté directement par le courant, un câble souple formé de plusieurs fils amène aux autres voitures le courant nécessaire soit aux moteurs, soit aux lampes. Sur le pourtour du plafond des voitures sont installées des lampes à incandescence avec leurs accessoires ordinaires.

Freinage. — Les dispositifs de freinage comprennent : un frein à air comprimé, système Westinghouse, agissant au-dessus des roues et commandé par le conducteur de l'avant de la voiture; un frein à main, qui agit également sur les leviers du frein à air comprimé. Un freinage électrique peut enfin être obtenu en mettant lès moteurs hors circuit ou en renversant le courant.

Les cylindres des freins Westinghouse font corps avec les châssis pivotants, à la partie supérieure de ceux-ci. Des leviers oscillants répartissent également l'effort du frein sur les deux roues, au moyen de larges sabots. L'air nécessaire au fonctionnement du frein est emmagasiné, au point terminus de la ligne, dans un réservoir spécial, disposé sous la voiture. Un dispositif particulier, permet aux voyageurs en cas de danger immédiat, d'actionner eux-mêmes le frein à air comprimé. Le réservoir est calculé pour permettre une dépense de 0,48 litre d'air à la pression de 4 atmosphères, par arrêt et par tonne. La pression initiale peut atteindre 9 et 10 kg [1].

Block-système automatique. — Cette ligne, destinée à un trafic intense, exigeait un block-système automatique conçu de telle façon que chaque train pût exécuter lui-même la manœuvre du disque rouge destiné à le couvrir et du disque vert ouvrant la voie au convoi suivant.

Le dispositif, imaginé et réalisé par la Elektricitäts A.-G., vorm. Schuckert et C°, de Nürnberg, offre le précieux avantage de soustraire le circuit qui renferme les signaux à toute influence étrangère : défaut d'isolement ou décharge atmosphérique, grâce à un appareil à action différée qui effectue la double manœuvre en deux phases distinctes. Les feux sont constitués par deux groupes de 4 lampes de 32 bougies, vertes et rouges, qui brillent alternativement. Ils sont logés dans des lanternes carrées S, en tôle dont une face seulement, celle tournée vers la station, est ouverte. On les incline légèrement pour éviter l'accès des rayons solaires. Le changement de couleur se produit au moment où le train franchit une section isolée J, de 3 à 4 m de longueur, établie à la sortie de chaque section.

Pour bien faire saisir le fonctionnement du système, il convient de rappeler que les deux frotteurs de chaque voiture sont distants de 8 m, environ le double de la section isolée, et qu'ils sont reliés électriquement. Lorsque le premier est en contact avec le rail isolé, le second lui envoie du courant ainsi qu'au rail et, par ce dernier, au circuit comprenant le fanal rouge et le signal « arrêt ». Le circuit s'ouvre quand le premier frotteur a quitté la section isolée et se referme quand le deuxième vient en contact avec elle. C'est pendant cette deuxième période, très rapprochée de la première, que le courant est lancé dans la

[1] C'est à peu près la consommation constatée sur d'autres voies; ainsi, le tramway électrique de Bruxelles exige, dans les mêmes conditions, de 0,66 à 0,73 litre d'air à 4 atmosphères; le chemin de fer souterrain de Londres, 0,53 litre, et le chemin aérien électrique de Liverpool, seulement 0,39 litre. L'écart provient, dans le premier cas, des fortes rampes qui existent sur la voie.



ligne aboutissant à la station antérieure à celle que la voiture vient de quitter et où apparaît le disque vert.

Le schéma de l'installation est représenté par la figure 22. Les parties de droite des deux tableaux se rapportent à la direction Rittershausen-Eberfeld, Vohwinkel; celles de gauche, à la direction contraire. Une dérivation du conducteur principal est reliée aux barres N_1 N_2, N_3 N_4 et répartit le courant dans l'un ou l'autre circuit de lampes suivant la position des commutateurs U_2 et U_4; les barres inférieures sont en relation avec le conducteur de retour. On remarque, à droite et à gauche des tableaux, des lampes rouges et

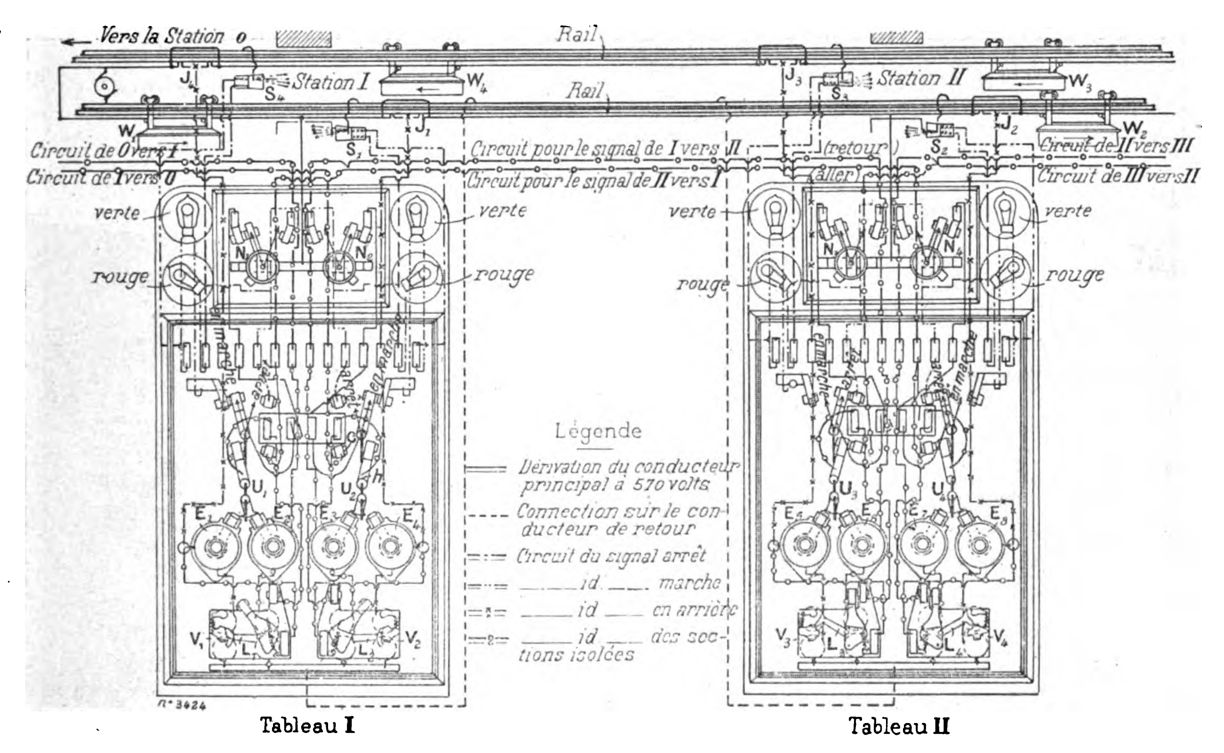


Fig. 22. — Schéma des connexions du Block-Système automatique.

vertes, en série avec les lanternes S_1 et S_2. Ces lampes de contrôle sont affectées à l'usage du chef de station. Des sections isolées J_1, J_2... partent des fils qui se rendent aux électros E_4, E_8, puis aux appareils à action différée V_2 et V_4, et enfin au conducteur de retour.

Supposons un train à la station II, où le disque vert indique au mécanicien que le tronçon de voie devant lui est libre et qu'il peut se mettre en route. Arrivé à la section isolée, une première fermeture du circuit amènera le commutateur U_4 sur le signal « arrêt » et allumera les feux rouges qui le protégeront. En même temps, le levier L_4 est partiellement libéré et prend la position figurée en L_2 au tableau I; à la rupture du courant, il est complètement lâché et le circuit comprenant les lampes vertes de la station précédente se trouve alors fermé en L_4 et au moyen du levier h abaissé sur c (tableau I). Quand le second frotteur mettra à son tour le circuit dérivé de J_2 en charge, le courant gagnera la ligne par la dérivation en E_8, les leviers L_4 et h, le plot c, la ligne II vers I, et enfin l'électro E_2 qui amènera le commutateur U_2 sur le signal « marche » et allumera les feux verts.

S'il survient sur la ligne un accident qui nécessite un arrêt de la circulation, les com-



mutateurs N_2 et N_4 sont tournés de droite à gauche [N_1 et N_3, de gauche à droite], de sorte que le signal rouge reste constamment visible ; la ligne est bloquée.

Les différents circuits sont représentés par des traits caractéristiques, et il sera facile au lecteur de suivre le fonctionnement du système sur la figure .

Les trains, rarement il est vrai, sont susceptibles de marcher dans deux directions différentes; dans ce cas, le procédé que nous venons de décrire n'est plus applicable. Il faut alors recourir aux signaux habituels par télégraphe et téléphone.

Les mêmes dispositifs de sûreté sont appliqués à la boucle du Jardin Zoologique d'El-

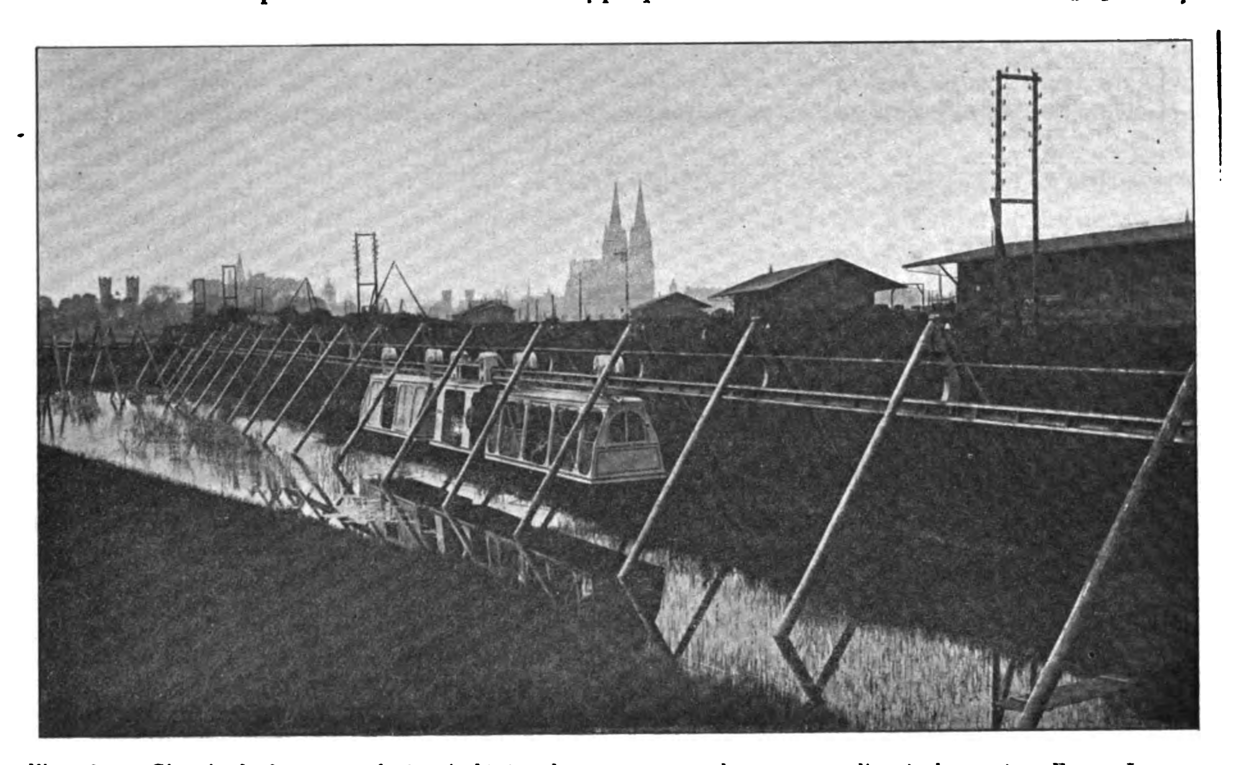


Fig. 23. — Chemin de fer suspendu à voie légère de campagne et de montagne d'après le système Eugen Langen.

berfeld, c'est-à-dire, qu'un convoi, qui doit emprunter la voie d'évitement, protégera sa manœuvre en actionnant les signaux rouges et verts. Si deux trains se trouvent en même temps sur ce tronçon de ligne, ils sont garantis par des signaux mobiles analogues à ceux employés sur les voies ordinaires. On a pris un surcroît de précaution destiné à éviter toute erreur d'aiguillage de la part du poste-vigie; pour cela, les verrous de l'aiguille sont reliés à la station elle-même, d'où s'effectue la manœuvre du déverrouillage.

Frais d'installation et d'exploitation. — Nous avons donné plus haut les poids par mètre courant du viaduc métallique à savoir 1 140 kg au-dessus de la Wupper et 1065 kg au-dessus des rues. Les frais de premier établissement de la ligne ne dépasseront pas 600 000 à 650 000 fr par km. Les autres frais pour l'équipement électrique et pour les voitures dépendent de la vitesse et du trafic à satisfaire. A Elberfeld, pour le moment, l'installation est faite pour qu'il puisse partir, toutes les trois minutes, un train de 100 personnes marchant à une vitesse de 40 à 50 km. Le total des frais de premier établissement, avec équipement complet, s'élèvera à environ 900 000 fr par kilomètre. A titre de comparaison, nous



rappellerons que les frais de premier établissement du chemin de fer aérien électrique de Berlin, construit par Siemens et Halske, ont été de 2 500 000 fr, ceux du chemin de fer aérien de Londres de 4 000 000 à 10 000 000 fr par kilomètre. Bien que la consommation d'énergie électrique croisse rapidement avec l'augmentation de vitesse prévue, elle ne semble pas devoir être supérieure, par place-kilomètre, à celle qu'entraînent les tramways électriques ordinaires, dont la vitesse est trois fois moindre. Les conditions générales de frottement sur les chemins de fer suspendus sont particulièrement favorables à ce point de vue.

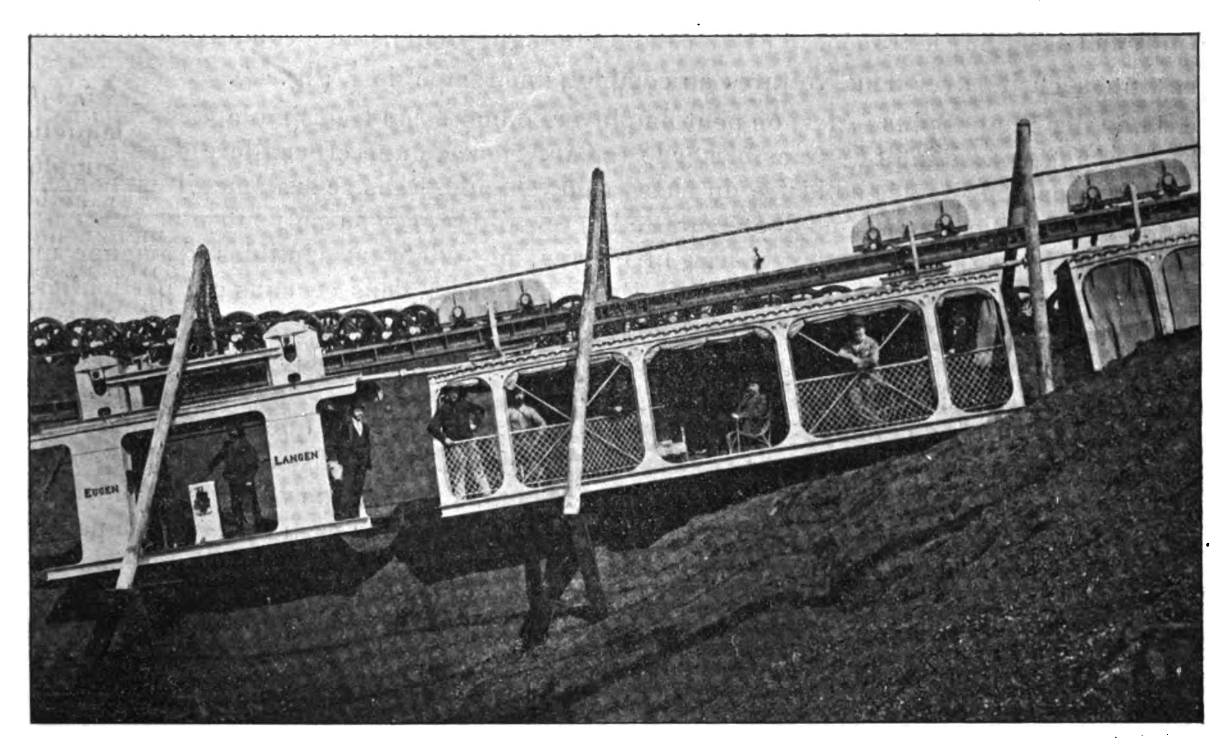


Fig. 24. — Ligne d'essai d'un chemin de fer léger à fortes rampes, système Eugen Langen.

Autres applications du chemin de fer suspendu. — La Continentale Gesellschaft für Elektrische Unternehmungen a construit également, à titre d'essai, *une voie légère de campagne et de montagne*, qui est représentée par la figure 23 et qui convient aussi bien comme voie de pénétration dans les contrées des tropiques. Complètement indépendante des accidents de terrain, elle est garantie contre les inondations, les tempêtes et la rapide végétation et peut être construite relativement bon marché.

Tout le corps de la voie se compose d'un support en double T qui est pourvu en haut et en bas d'une tête de rail pour les roues. Ce support est soutenu tous les 6 ou 8 m par deux poteaux en fer creux ou en bois, au moyen d'une pièce en forme de crochet et composée de tôle et cornières : les extrémités supérieures des deux poteaux sont réunies par un joint articulé dans lequel passe le crochet qui est mobile. Ce raccordement articulé du support de rail avec les chevalets a pour but de permettre que les montants obliques du chevalet soient toujours chargés également et par conséquent facilement maintenus, qu'ils soient très droits ou très penchés; il facilite, en outre, l'allongement des rails produit par les changements de température. Environ tous les 200 m, on relie fortement entre eux deux

chevalets voisins pour obtenir des points fixes assurant la stabilité de la voie et empêchant le mouvement longitudinal de celle-ci. Dans ces conditions, le poids par mètre de voie, supports compris, est de :

150 kg	pour voitures	de 4	tonnes
200 »	»	de 6	»
250 »	»	de 8	»

Cette voie permet, de plus, d'augmenter à volonté l'adhérence. En pressant des roues, au-dessous des supports de rails, on peut faire agir des roues supplémentaires comme des roues motrices. Sur le tronçon d'essai installé à Cologne-Deutz, une locomotive a pu monter en toute sécurité, avec deux voitures au complet, une rampe de $\frac{1}{6}$ (fig. 24).

Pour des rampes plus fortes, on peut employer, d'une façon très simple, *des chemins de fer à crémaillère*. Il suffit de transformer le rail inférieur en une crémaillère dans laquelle s'engage une roue dentée solidaire du châssis du véhicule. Dans ce système, il est complètement impossible que la roue dentée quitte la crémaillère, car on ne peut jeter sur celle-ci, puisqu'elle est tournée vers le bas, ni pierres, ni objets susceptibles d'amener une obstruction des vides de cette crémaillère. Enfin, on pourra, dans certains cas particuliers, employer *des chemins de fer suspendus funiculaires*. C'est ainsi que l'on installe un petit chemin de fer de montagne à Loschwitz, près de Dresde, pour un parcours de 250 m et une élévation verticale de 80 m.

Le poids du fer employé est de 300 t ; il a été fourni, ainsi que les voitures, par la Vereinigte Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg A.-G. La double voie est supportée par 33 piliers oscillants, de 15 m de hauteur en moyenne, renforcés par un pylône fixe seulement. Ils sont terminés à leur partie supérieure par des consoles qui reçoivent les poutres de rive sur lesquelles sont fixés les rails. Le matériel roulant se compose de deux véhicules, l'un montant, l'autre descendant, reliés entre eux par un câble en acier de 44 mm de diamètre et capable de résister à un effort de 90 000 kg. Chaque voiture pèse 21,8 t et contient 50 places ; son équipement se compose d'un frein à main et d'un frein automatique. La station supérieure abrite la machine à vapeur qui fait mouvoir les deux véhicules ; elle possède aussi un frein qui assure automatiquement l'arrêt au point terminus. Ce chemin de fer suspendu funiculaire appartient à la Société « Elektra », de Dresde, qui l'exploite elle-même.

T. PAUSERT.

ONDOGRAPHE OU CYMATOGRAPHE HOSPITALIER [1]

I. BUT DE L'INSTRUMENT. — L'*ondographe* — ou, pour les puristes, le *cymatographe* — a pour objet d'inscrire ou d'enregistrer directement, à l'encre, sur une bande de papier, les courbes représentatives d'un phénomène électrique périodiquement et rapidement variable (forces électromotrices, intensités, différences de potentiel, puissances, etc.).

(1) Cet instrument a été présenté par M. Hospitalier, à la dernière séance de la Société internationale des Electriciens, le mercredi 3 juillet. M. Hospitalier ayant bien voulu nous communiquer les épreuves de l'article qu'il y consacre dans le numéro du 10 juillet de *L'Industrie Électrique*, nous pouvons dès maintenant donner une description complète du modèle qui lui a permis de prendre, en quelques semaines, plusieurs centaines de courbes de forces électromotrices, différences de potentiel, intensité, etc. ; nous remercions vivement M. Hospitalier de cette complaisance.



Par cette définition on voit immédiatement les services qu'il est appelé à rendre dans l'industrie électrique aujourd'hui où l'emploi des courants alternatifs se répand de plus en plus, et où les ingénieurs sont obligés de connaître dans leurs moindres détails les formes des courbes des forces électromotrices ou des courants qu'ils produisent ou qu'ils utilisent, l'hypothèse simpliste de la forme sinusoïdale ne fournissant qu'une première approximation manifestement insuffisante.

D'autres appareils, parmi lesquels les oscillographes de M. Blondel et de M. Duddell, et le rhéographe de M. Abraham, fournissent il est vrai une solution du même problème, et en fait une solution plus exacte, car ils donnent la forme de chaque onde tandis que, comme nous le verrons par sa description, l'ondographe de M. Hospitalier ne fournit que la forme moyenne d'une série d'ondes. Mais ces appareils sont d'une manipulation délicate, les courbes qu'ils fournissent ne peuvent être enregistrées que par la photographie, mode d'enregistrement incomparablement

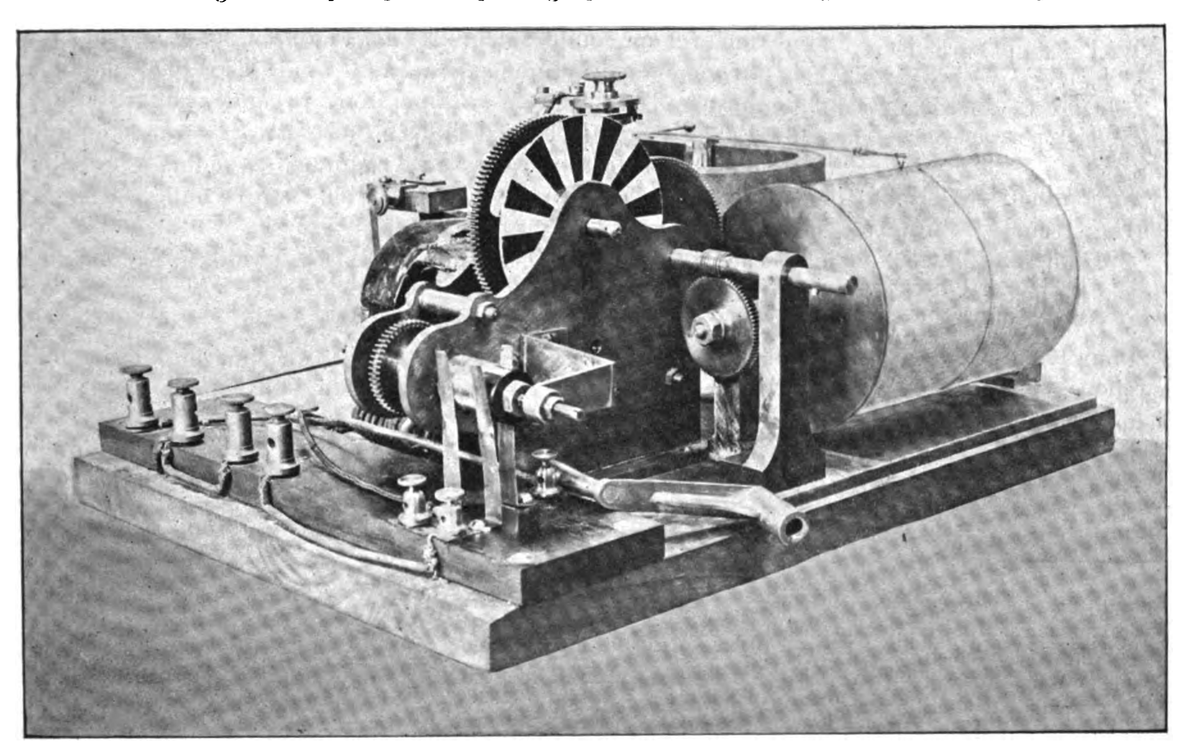


Fig. 1. — Ondographe Hospitalier.

moins commode que l'inscription directe sur un cylindre tournant. Comme le fait remarquer M. Hospitalier ce sont sans doute ces raisons qui ont retardé le développement industriel de ces appareils, « malgré les nombreux services qu'ils pourraient rendre si leur emploi était plus répandu. »

II. Principe et description de l'ondographe. — L'ondographe (fig. 1) est basé, en principe, sur une combinaison de la méthode par points successifs de M. Joubert, de la méthode stroboscopique et des appareils enregistreurs électriques.

Il se compose essentiellement :

1° D'un *moteur synchrone* à courants alternatifs simples, actionné directement, ou après transformation convenable, par la source électrique dont on veut obtenir le tracé des variations périodiques des éléments (1).

(1) Dans le premier appareil construit à titre d'appareil d'étude par la Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, le moteur synchrone est constitué par un petit moteur à courant continu obligeamment prêté par M. Blondeau. Il est excité par deux accumulateurs, et l'induit en anneau Gramme reçoit le courant

2° D'un *train d'engrenages* ayant pour objet d'imprimer à un coupleur ou commutateur tournant une vitesse angulaire telle que, lorsque le moteur a effectué un certain nombre de tours, ce commutateur en effectue un nombre égal (ou un multiple) *augmenté* ou *diminué* de 1. Il est préférable pour que pour l'inscription de la courbe se trace dans le même sens que l'écoulement du temps, que le coupleur tourne moins vite que le moteur. Ce retard ou cette avance, essentiel au système, évite d'imprimer une rotation réelle aux balais du moteur.

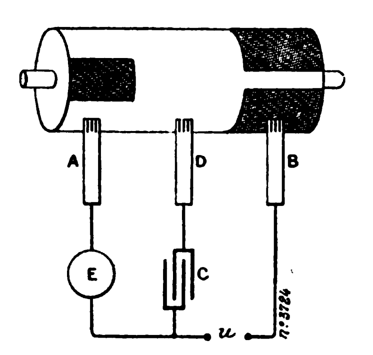


Fig. 2. — Commutateur de l'ondographe.

3° D'un *coupleur* ou commutateur automatique formé d'un noyau cylindrique en matière isolante portant un tube de cuivre ou de laiton convenablement découpé contre lequel appuient trois balais (fig. 2). Cet ensemble a pour objet de mettre successivement en connexion avec un condensateur : *a*) deux points des circuits où se passe le phénomène périodiquement variable à enregistrer : *b*) ; un appareil de mesure. Dans la première opération, le condensateur se charge ; il se décharge dans l'appareil de mesure dans la seconde opération. Pour le tracé de la puissance, le coupleur se réduit à une simple barre conductrice fermant périodiquement le circuit une fois par tour sur la bobine à fil fin de l'enregistreur par l'intermédiaire de deux balais.

4° D'un *condensateur* dont la capacité peut être constante ou variée à volonté par des fiches, afin de régler la sensibilité de l'appareil [1].

5° D'un *appareil de mesure* approprié au phénomène à inscrire.

Pour les différences de potentiel et les intensités, l'enregistreur est un appareil à cadre mobile de sir William Thomson, type Deprez-d'Arsonval, Weston, Chauvin et Arnoux, Meylan, etc., disposé horizontalement ou verticalement.

Pour les puissances, l'enregistreur est un wattmètre ordinaire [2] : le courant périodique traverse la bobine primaire fixe d'une façon continue, tandis que la bobine mobile à fil fin est placée dans le circuit périodiquement fermé par le coupleur rotatif sur la différence de potentiel définis-

---

alternatif par deux frotteurs et deux bagues reliées aux deux extrémités d'un même diamètre de l'enroulement.

Ce moteur est alimenté par un petit transformateur à tension variable de M. Gaiffe qui permet de régler la tension aux bornes en fonction de l'excitation, pour que le petit moteur travaille dans le voisinage du minimum de la courbe en V de Mordey.

Dans le modèle définitif actuellement en construction, le petit moteur fonctionne sans excitation et sous une différence de potentiel directe de 110 volts, ce qui simplifie considérablement l'installation, par la suppression de l'accumulateur et du transformateur.

(1) Le condensateur peut être quelconque, en papier paraffiné ou en mica, et sa capacité n'a pas besoin d'être exactement connue : il suffit qu'elle reste constante pendant une expérience.

(2) Dans ses essais M. Hospitalier s'est servi d'un compteur Thomson monté en wattmètre : l'axe est soumis à l'action de deux ressorts en spirale qui amènent le courant à l'induit mobile, ce qui supprime les balais. Le courant principal traverse les bobines fixes et la bobine mobile à fil fin est mise en dérivation, une fois par période et pendant un instant très court, par l'intermédiaire du commutateur et des balais, avec la différence de potentiel définissant la puissance à mesurer.

Sous l'influence des impulsions successives que la bobine reçoit, par le fait des courants intermittents qui la traversent et du courant alternatif principal, la bobine fait avec sa position d'équilibre un angle proportionnel à la puissance à chaque instant de la période définie par la position du commutateur, et entraîne par un levier la plume de l'enregistreur. Cette proportionnalité résulte du fait que l'angle décrit par la bobine mobile autour de sa position d'équilibre ne dépasse jamais 10 à 12° de chaque côté du zéro : dans ces conditions, l'enroulement en tambour du wattmètre peut être considéré comme n'ayant subi aucun déplacement au point de vue des actions électrodynamiques.

Le disque de cuivre du compteur sert à donner au système l'inertie et l'amortissement nécessaire au fonctionnement normal de l'appareil. Ce fonctionnement normal correspond à l'amortissement critique d'une part, et à une durée d'oscillation comprise entre la période du phénomène à enregistrer et la durée de l'enregistrement d'une période. Si la durée d'oscillation est trop grande, on diminue la dimension du disque, ou on l'établit en aluminium ; si l'amortissement est trop grand, on éloigne les aimants. On obtient ainsi une grande marge de réglage.

sant le second facteur de la puissance. Le réglage se fait par l'introduction de résistances dans le circuit à fil fin [1].

Dans tous les cas, l'équipage mobile de l'appareil enregistreur reçoit une série d'impulsions dont la fréquence est égale à celle du courant à enregistrer. Il présente une inertie et un amortissement calculés pour que la position du cadre mobile à chaque instant corresponde à celle que lui ferait prendre le courant moyen correspondant à la quantité d'électricité qui le traverse pendant une période.

6° D'un *enregistreur* cylindrique ou continu commandé directement à la vitesse convenable par le moteur synchrone. L'enregistrement peut être quelconque : à la plume, la roulette, au papier chimique, au papier fumé, etc. Le papier peut être monté sur un cylindre tournant, se dérouler sur des rouleaux plans ou se déplacer longitudinalement dans le sens des génératrices d'un cylindre ayant pour axe celui de l'appareil de mesure et pour rayon la distance de la plume à l'axe.

Dans le modèle construit, l'enregistreur est du type imaginé par M. Meylan.

M. Hospitalier a d'ailleurs apporté une modification heureuse au dispositif de commande de la plume d'inscription ; nos lecteurs en trouveront la description plus loin.

III. Fonctionnement. — La première opération à réaliser est de mettre en marche le moteur synchrone. Pour cela on lance le moteur au moyen du train d'engrenages et d'une manivelle. On juge que la vitesse du synchronisme est atteinte en éclairant, au moyen d'une lampe alimentée par la même source que celle qui doit alimenter le moteur, un disque à secteurs alternativement blancs et noirs monté sur l'arbre de ce moteur. Quand les secteurs paraissent immobiles on connecte le moteur ; la manivelle se dégage automatiquement par un dispositif analogue à celui de la manivelle d'un moteur d'automobile.

Quand le moteur est en marche et les connexions de l'appareil de mesure effectuées suivant la nature de la quantité que l'on se propose d'enregistrer, il suffit de laisser la plume appuyer sur le cylindre d'enregistrement. Comme le diamètre et la vitesse de ce cylindre sont calculés de manière que trois périodes entières soient inscrites pendant la durée d'un tour, la plume repasse, au second tour du cylindre, exactement sur le tracé primitif si toutefois la forme de l'onde n'a pas changé dans l'intervalle.

IV. Résultats. — Nous avons dit que M. Hospitalier a utilisé son appareil au tracé de plus de plusieurs centaines de courbes. Parmi les courbes obtenues signalons celles des forces électromotrices des machines génératrices des diverses usines à courants alternatifs de Paris et de la banlieue, des différences de potentiel et des intensités aux bornes de lampes à arc, aux bornes de soupapes électrolytiques et tout particulièrement des courbes d'un développement total de 6 m montrant les phénomènes résultant de l'accouplement en parallèle et du désaccouplement d'une machine nouveau type et d'une machine ancien type de l'usine d'Issy, du secteur de la rive gauche, machines ayant des courbes de force électromotrice notablement différentes.

Ces résultats indiquent suffisamment le genre d'applications de l'appareil. Dans sa communication M. Hospitalier les résume dans cette phrase qui nous servira de conclusion :

« L'ondographe sera surtout utile aux constructeurs de dynamos, de moteurs et de transformateurs ; aux usines centrales à courants alternatifs ; aux fabricants de câbles à haute tension, qui ont un si grand intérêt à connaître la forme des courants alternatifs auxquels leurs câbles sont soumis ; aux écoles industrielles et aux laboratoires de recherches et aux laboratoires d'enseignement pour lesquels ils rendront visibles et immédiats des faits dont l'explication est souvent si difficile et si pénible. »

J. Blondin.

---

[1] Cette méthode directe peut s'appliquer également à l'inscription des différences de potentiel et des intensités, ce qui supprime l'emploi du condensateur, mais le condensateur présente certains avantages pratiques.

DISPOSITIF HOSPITALIER

POUR LE REDRESSEMENT DES ORDONNÉES D'UN TRACÉ D'ENREGISTREUR

Dans la plupart des enregistreurs à tracé direct, on est obligé de réduire la longueur de l'aiguille commandant la plume, afin que le frottement de la plume contre le papier ne fausse pas l'enregistrement d'une façon sensible. L'emploi d'une aiguille courte commandant la plume à la manière ordinaire, nécessité par la faiblesse du couple directeur et le frottement de la plume, présente plusieurs inconvénients.

1° Les ordonnées curvilignes ont un rayon de courbure relativement petit, et la courbe enregistrée subit, de ce fait, une déformation souvent gênante ;

2° La trajectoire curviligne décrite par la plume l'empêche de porter bien exactement sur tous les points du cylindre enregistreur, dont elle décrirait une génératrice si le rayon était infini. Dans ces conditions, une plume bien réglée inscrit par points dans certaines parties, appuie fortement sur le papier dans d'autres parties, et n'appuie plus du tout sur les parties correspondant aux plus longues ordonnées ;

3° La tige portant la plume devrait être à la fois *rigide* pour la direction et *flexible* pour l'inscription ; il est difficile de réunir dans un même organe ces deux qualités contradictoires.

Fig. 1.

Pour réduire ces inconvénients dans une large mesure, M. Hospitalier emploie un dispositif qui consiste, en principe, à séparer complètement, tout en les laissant solidaires, l'organe de direction et l'organe d'inscription, et à réaliser, avec un système directeur de faible rayon, un enregistrement dont les ordonnées ont un rayon assez grand pour que l'inscription se rapproche sensiblement de celle que donnerait un enregistreur dont la plume décrirait un arc decercle de rayon infini.

L'appareil d'enregistrement se compose de deux organes distincts : l'aiguille directrice et la plume d'inscription.

L'aiguille directrice est un levier rigide monté sur l'appareil de mesure et dont l'extrémité la plus éloignée de l'axe de rotation se termine par une fourche étroite dans laquelle vient s'engager le levier portant la plume. Cette fourche décrit, pendant l'enregistrement, le chemin que décrirait la plume de l'enregistreur ordinaire pendant la rotation du papier.

La plume d'inscription est constituée par un levier de grande longueur, dont l'une des extrémités pivote autour d'un axe parallèle à celui de l'enregistreur, mais en est éloigné d'une distance sensiblement égale à la différence des longueurs des deux leviers. Son autre extrémité s'engage dans la fourche de l'aiguille directrice et porte, un peu au delà de cette fourche, la plume inscrivante, qui peut être quelconque (plume Richard, roulette Chauvin et Arnoux, fil de crin sur papier fumé, tube capillaire renfermant de l'encre, etc.).

On comprend que, dans ces conditions, pendant que la fourche décrit un arc de cercle de petit rayon, la plume décrit un arc de grand rayon : en donnant au levier qui la porte une longueur suffisante, cet arc peut, dans les limites de la largeur du cylindre, se confondre sensiblement avec la tangente en son milieu. Le point de contact de la plume avec le papier s'éloigne ainsi fort peu d'une génératrice, et l'inscription se fait avec une égalité parfaite dans toute l'étendue du cylindre. La plume et son levier peuvent donc être proportionnés pour satisfaire aux conditions de flexibilité et de réglage de l'inscription, et de l'inscription seule, puisque la direction de la plume est confiée

à un autre organe auquel on donne, de son côté, toute la rigidité nécessaire pour remplir exactement cette fonction directrice.

Le levier directeur et le levier inscrivant décrivent des arcs de cercle de rayons différents ; il en résulte que le levier portant la plume glisse légèrement, animé d'un mouvement de va-et-vient, dans la fourche ménagée sur le levier de direction. Le levier et la fourche doivent être combinés pour faciliter ce déplacement relatif. Dans ce but, la tige de la plume est bien polie dans la région du glissement, et la fourche est taillée en biseau ou arrondie sur les côtés pour permettre les légers déplacements angulaires relatifs des deux organes.

M. Hospitalier a appliqué le dispositif que nous venons de décrire au type d'ondographe destiné à l'enregistrement de la puissance instantanée des courants alternatifs. L'aiguille directrice du wattmètre a 18 cm de longueur, tandis que le levier commandant la plume a une longueur double, soit de 36 cm. Dans ces conditions, il est facile de démontrer que la différence de longueur entre les deux ordonnées curvilignes, l'une correspondant à la valeur théorique, pour l'aiguille de 18 cm, et l'autre, à l'ordonnée redressée de 36 cm de longueur, est absolument nulle. En effet, si l'angle α décrit par l'appareil de mesure est proportionnel à la grandeur à mesurer, il est facile de voir sur la figure qu'en faisant $OO' = r = \frac{r'}{2}$, le triangle OO'A est isocèle, il en résulte que $\alpha = 2\alpha'$.

L'arc AB de longueur l est égal à l'arc BC de longueur l' et l'appareil reste rigoureusement proportionnel.

L'inscription de la courbe se fait presque rigoureusement sur la génératrice du cylindre enregistreur, et la plume, plus indépendante et plus facilement réglable, ne produit plus aucun raté d'inscription. Nous croyons que le dispositif sera utilisé avec avantage dans tous les cas où l'allongement de l'appareil résultant de l'emploi d'une plus longue aiguille ne constitue pas une sérieuse objection à cet emploi.

J. B.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Sur la non-utilité de la condensation dans les usines d'éclairage électrique, par **R. V. Picou.** *L'industrie électrique,* t. X, p. 269, 25 juin 1901.

Il est généralement admis qu'il est indispensable, au point de vue de l'économie, de munir de condenseurs les machines à vapeur dès que leur puissance atteint 150 chevaux. D'après M. Picou cette opinion, si répandue quelle soit, est inexacte en ce qui concerne les usines d'éclairage dont les machines ne sont utilisées que pendant un petit nombre d'heures par jour [1].

Pour prouver par des chiffres l'exactitude de cette assertion, M. Picou examine successivement le cas ou chaque machine est munie d'un condenseur actionné par elle et celui où l'installation ne comporte qu'un seul condenseur indépendant.

Premier cas. — Faute de données sur des machines de construction tout à fait récentes. M. Picou prend celles qui ont été publiées par M. Delafond, ingénieur en chef des mines, dans les *Annales des mines* de septembre-octobre 1884 et qui se rapportent à des essais effectués en 1884

[1] C'est une question de durée de marche de chaque unité ; en dessous d'une certaine durée journalière, les frais entraînés par la condensation ne couvrent pas ceux de la dépense complémentaire de combustible. On comprend donc que, s'il y a intérêt à condenser sur la machine qui fait le service toute la journée, cela puisse être parfaitement inutile pour la machine qui marchera une heure, au moment du maximum. Il y a donc une limite, dépendant des conditions locales et de la puissance des unités. M. Picou a cherché à préciser quelque peu cette limite, et a cru utile de donner quelques chiffres à ce sujet.

sur nne machine type Corliss construite par les ateliers du Creusot. Parmi ces données il utilise celles qui correspondent à une marche avec ou sans condensation, avec emploi d'une chemise de vapeur dans les deux cas, la pression de la vapeur aux chaudières étant de 7,75 kg : cm². Dans ces conditions les consommations de vapeur moyennes par cheval heure, pour des puissances variant de 122 à 240 chevaux suivant le degré d'introduction, ont été de

A condensation : Puissance indiquée	. .	7,58 kg.
— effective	. . .	9,47 »
Sans condensation : Puissance indiquée	.	9,92 »
— effective	. .	11,41 »

« Dans les chiffres ci-dessus, on trouve d'abord, dit M. Picou, une indication importante relative au *rendement organique*, dont la valeur est :

$$\text{à condensation : } \rho = \frac{7,58}{9,47} = 0,80,$$

$$\text{à échappement libre : } \rho = \frac{9,92}{11,41} = 0,87.$$

» L'écart donne la mesure de la dépense de puissance motrice nécessitée par le jeu de la pompe à air. Il est à noter que, dans ces essais, celle-ci était en tandem avec le cylindre à vapeur, c'est-à-dire dans une position éminemment favorable à la réduction des frottements, par l'absence de tout balancier ou bielle de renvoi de mouvement.

» Lorsqu'on aura à condenser, il sera extrêmement rare qu'on n'ait pas à élever l'eau nécessaire, — soit avant la condensation pour la tirer d'un puits, — soit après, pour la refouler aux réfrigérants. Il faut donc encore prévoir le travail d'une pompe élévatoire, travail facile à calculer. L'eau de condensation étant d'environ 200 litres par cheval-heure, si l'on compte l'élévation à 10 m, on aura à produire, par cheval-heure, 2000 kgm en eau montée ; soit, pour 150 chevaux, 300 000 kgm ou 1,11 cheval. Avec les rendements de pompe et de transmission on arrive aisément à 2 chevaux effectifs absorbés, valeur certainement au-dessous de la vérité.

» Les chiffres ci-dessus permettent d'établir l'économie réelle de vapeur due à la condensation. Le tableau comparatif s'établit comme il suit :

	A condensation	Sans condensation
Chevaux indiqués	150	150
— effectifs	120	130
— disponibles.	118	
Vapeur dépensée en kg . . .	1137	1488
— par cheval disponible, en kg.	9,63	11,45

» Différence, 1,82 kg par cheval disponible.

» Il faut maintenant mettre en regard de cette économie le supplément de dépenses d'établissement occasionné par la condensation.

» Prenons d'abord le cas le plus favorable, celui où le condenseur est attelé directement et où l'eau, étant en abondance, est rejetée après usage.

» Les relevés faits sur les prix courants des divers constructeurs donnent des valeurs assez concordantes pour le coût du condenseur ; il vaut environ 3 000 fr d'acquisition. A ce prix il faut ajouter *au moins* 2 000 fr pour les tuyauteries et vannes, et 500 fr pour supplément de fondations. Nous admettrons même que le bâtiment n'a pas besoin d'être agrandi, malgré que cela soit toujours nécessaire lorsque le condenseur est en tandem.

» La dépense d'établissement du condenseur dans le cas le moins coûteux est donc de 5 500 fr, et ce ne sera pas une estimation exagérée que de compter à 10 p. 100, soit 550 fr, la charge annuelle d'intérêt et d'amortissement. Il ne faudra pas beaucoup de clapets remplacés pour que cette somme soit sensiblement dépassée.

» Ceci établi, une équation commerciale immédiate va nous donner la durée limite de marche pour laquelle il y a indifférence à condenser ou non, en fonction de la vapeur du combustible.

» Appelons P le prix du kilogramme de charbon, et t, la durée annuelle de marche du groupe considéré ; enfin, comptons à 7,5 la vaporisation des chaudières (rapport du poids d'eau vaporisée à celui du combustible brut). Nous avons comme dépense correspondant au surplus de vapeur dû à l'absence de condensation :

$$\frac{130 \times 1,82}{7,5} \times P \times t.$$

» Egalant à 550 fr, charge annuelle due au condenseur, dans l'autre cas, on en tire :

$$t.P. = \frac{550 \times 7,5}{130 \times 1,82} = 17,43.$$

» D'où selon les différents prix du combustible, le tableau :

P.	t
20 fr. par tonne.	871 heures par an.
25 —	700 —
30 —	580 —

» Ainsi, même avec le charbon cher, il n'y a aucun intérêt financier à condenser si la durée de marche annuelle du groupe considéré est inférieure à 580 heures, soit 1 heure et demie par jour environ ; et avec le charbon à 25 fr la tonne, la limite est de 700 heures, soit environ 2 heures par jour.

» Si nous prenons comme exemple une usine centrale comprenant six groupes semblables, il y en aura certainement un, probablement deux, mais très probablement pas trois pour lesquels la condensation sera réellement avantageuse ; et on peut affirmer que ce serait une erreur que de l'appliquer à toutes les unités indistinctement.

» Reste à déterminer auxquelles il convient de l'appliquer.

» Les usines centrales destinées à l'éclairage sont établies sur deux plans généraux différents en ce qui concerne les dimensions d'unité. Dans le premier, on emploie des machines de puissances étagées, qui sont mises en marche selon le débit prévu. Cette disposition est celle qui assure le minimum de machines en service. Dans l'autre plan on installe des unités toutes de même puissance ; et c'est le nombre en service qui varie avec les besoins de la distribution.

» Dans le plan par machines à puissances étagées, il n'est pas douteux que ce soit aux plus faibles unités que la condensation soit avantageusement applicable. Le condenseur attelé directement est alors tout indiqué comme étant le plus économique. »

2e Cas. — L'installation d'un condenseur indépendant, nécessaire dans les usines à unités identiques, change très notablement les conditions d'établissement de l'équation de la durée limite, telle qu'elle a été établie plus haut. M. Picou la rétablit dans l'hypothèse, souvent réalisée, où le condenseur indépendant fonctionne avec de l'eau refroidie artificiellement, dans un appareil type Chaligny, Sée ou autre analogue, et sans tenir compte encore de la valeur du terrain supplémentaire occupé par le réfrigérant. Il arrive alors [1] par des considérations analogues à celles exposées plus haut à l'équation,

$$t\,P = 47{,}60.$$

d'où l'on déduit les valeurs :

P.	*t.*
20 fr. par tonne.	2380 heures par an.
25 —	1904 —
30 —	1587 —

Ainsi, même avec le charbon cher, il n'y a intérêt à condenser dans ces conditions que si la marche dépasse 4 heures et quart par jour ; avec le charbon à 20 fr, il faut atteindre 6 heures et demie pour qu'elle devienne avantageuse.

Conclusions. — « Ces chiffres, ajoute M. Picou, pourront causer quelque surprise aux ingénieurs-mécaniciens ; ils n'en sont pas moins exacts en ce sens que, si l'on peut contester en quelques points leur valeur absolue, on ne changera toujours pas beaucoup, en les modifiant,

[1] La dépense de vapeur d'un condenseur indépendant est toujours assez élevée. De divers chiffres d'essais on peut déduire, sans aucune exagération, que 100 kg de vapeur à l'heure sont la dépense minimum probable d'un condenseur indépendant pour 150 chevaux, puissance considérée ci-dessus. Elle est, d'ailleurs, peu supérieure à la dépense de vapeur correspondant au condenseur attelé : $0{,}07 \times 150 \times 7{,}58 = 79{,}6$ kg. Le rendement organique reste alors le même avec ou sans condensation, et 130 chevaux effectifs correspondent aux 150 indiqués.

La vapeur dépensée est :

	A condensation.	Sans condensation.
Au moteur 7,58.150 = . . .	1137 kg	1488 kg
Au condenseur.	100 »	0 »
	1237 kg	1488 kg
Soit, par cheval-vapeur effectif et par heure	9,5 kg	11,5 kg
Différence.	2 kg	

Comptons maintenant les frais d'achat et d'installation relatifs à la condensation. Ils sont évalués modérément ci-dessous :

Condenseur indépendant.	4 500 fr
Réfrigérant.	8 000 »
Tuyauterie et fondations	4 000 »
Total	16 500 fr

Correspondant à un amortissement annuel de 1650 fr. L'équation devient alors

$$\frac{130 \times 2}{7{,}5} \times t.\ P. = 1650,$$

$$t.\ P. = 47{,}60,$$

les limites qu'ils déterminent. La condition des usines presque uniquement affectées à l'éclairage est toute spéciale, très désavantageuse certainement au point de vue de l'utilisation du matériel. Les électriciens ne l'ignorent pas, et font tous leurs efforts pour trouver la *charge de jour* si désirable ; mais en attendant qu'ils l'aient trouvée, ils peuvent se dispenser de monter la condensation sur leurs machines de service du soir. Ils y gagneront en simplicité de service et économie.

» On pourra nous reprocher d'avoir négligé dans notre raisonnement un facteur important, relatif aux chaudières. Si la marche à échappement libre dépense, en chiffre rond, 16 à 20 p. 100 de vapeur de plus que celle à condensation, il faudra, semble-t-il, en tenir compte dans le coût de l'installation des générateurs de vapeur, en leur donnant un accroissement de dimensions correspondant. En apparence, ce raisonnement est exact ; en pratique, il ne l'est pas. Car, la marche à échappement libre permet très facilement d'alimenter avec de l'eau à près de 100° ; tandis que la condensation ne fournit l'eau qu'à 40° tout au plus. Or le fait d'alimenter à 100° correspond pour les chaudières à une augmentation de vaporisation à surface de chauffe égale qui est précisément de l'ordre de grandeur de 15 p. 100 ; en outre il y a une légère économie de combustible, et un accroissement correspondant de la vaporisation proprement dite (rapport des poids d'eau vaporisée et de combustible).

» La balance est donc rétablie du fait de l'alimentation à l'eau bouillante.

» Enfin une dernière considération qui ne doit pas laisser indifférents les directeurs d'usine est celle de la sécurité de la marche. Sur 10 arrêts accidentels de machines, il en est 6 ou 7 qui ont leur cause dans un défaut de condensation ; rentrées d'air, destruction de clapets, mauvais jeu des pompes souvent reléguées dans des sous-sols où on ne les visite guère, etc., etc... Or l'arrêt accidentel est la première chose à éviter dans les usines d'éclairage ; car ses conséquences peuvent être chiffrées bien au delà de la valeur de quelques tonnes de charbon ; et le renom de l'entreprise en souffre notablement.

» En terminant ces notes, je crois devoir mettre en garde le lecteur contre une interprétation trop absolue des chiffres qui s'y trouvent. Dans tout cas particulier les circonstances locales sont à prendre en grande considération. Ainsi, dans tel cas particulier, un moteur à vapeur sert de réserve à une turbine ; on a l'eau en charge, en quantité toujours très suffisante pour la condensation, alors même qu'elle manque comme force motrice On peut et on doit mettre alors un condenseur éjecteur, qui ne coûte que fort peu, ne comporte aucun mécanisme, et qui sera toujours largement payé par l'économie de combustible, si faible qu'elle soit.

» Et ainsi de bien d'autres circonstances telles que le voisinage immédiat d'une rivière, etc.

» L'essentiel est d'être en garde contre l'emploi de la condensation lorsque, loin de procurer une économie, elle n'apporte qu'une charge, aggravée encore de complications de service et de risques d'arrêt. »

MOTEURS

Interruption du courant dans les moteurs shunts sans étincelles, par **R. Krause**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 233, 14 mars 1901.

On sait que l'on peut rompre le courant d'un moteur shunt marchant à pleine charge, sans produire d'arc en se servant d'un interrupteur 1 (fig. 1) disposé de telle sorte que l'enroulement

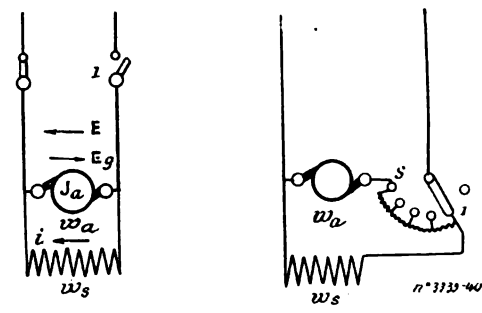


Fig. 1 et 2.

en dérivation ne soit branché qu'après lui. Mais si l'on ouvre cet interrupteur avant que le moteur n'ait atteint sa vitesse normale, on obtient un arc d'autant plus intense qu'on est plus éloigné de cette vitesse. On voit donc que le moteur doit être soumis à la totalité du voltage, sans qu'une partie en soit perdue dans le rhéostat de démarrage.

Le moteur marchant à pleine charge, soit n_1 sa vitesse, I l'intensité dans l'induit. La force contre-électromotrice est donc

$$E_g = E - J_a w_a.$$

w_a étant la résistance de l'armature. Si l'on rompt brusquement le courant en 1, la vitesse diminuera graduellement, mais, dans les premiers instants, elle sera n_2 très voisine de la vitesse de régime grâce à l'inertie des pièces en mouvement. Mais la valeur de l'intensité J_a est réduite à l'intensité d'excitation i et

$$iw_a < J_a w_a.$$

On a alors

$$E_{g1} = E - iw_a.$$

Si on a encore $n_2 = n_1$, nous avons même

$$E_{g1} > E_g.$$

L'arc à la rupture ne dépend que de la force électromotrice de self-induction et, comme celle-ci est fonction de $\frac{di}{dt}$, il en résulte que l'intensité devrait varier lentement à la rupture. On arrive à ce résultat par la rupture de l'interrupteur 1. La force contre-électromotrice de l'induit est alors fermée sur l'inducteur sur lequel elle travaille en génératrice. Si r_a est petit E_{g1} est égal ou très peu inférieur à la tension E. La self-induction de l'induit est nuisible à la rupture sans étincelle, car $\frac{di}{dt}$ est alors très grand. L'intensité J devient en effet i qui n'en est que les 2 ou 3 p. 100. Mais comme l'induit a peu de spires, la force électromotrice de self-induction, dirigée dans le même sens que la force électromotrice appliquée au moteur (et par

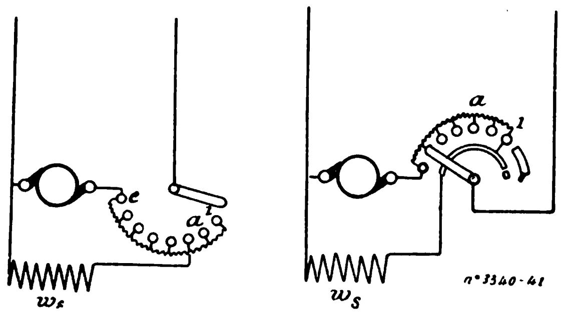


Fig. 3 et 4.

suite en sens inverse de la force contre-électromotrice de l'induit qui tend à supprimer l'arc) peut ne pas prendre une grande valeur. Les machines à grande vitesse sont donc plus faciles à interrompre sans arc que les machines lentes, car les premières ont moins de spires sur l'induit.

L'*Elektrotechnische Zeitschrift* a déjà indiqué un certain nombre de dispositifs, dont l'efficacité s'explique par les considérations qui précèdent. Le premier de ces dispositifs est représenté par la figure 2 et a été décrit par M. Fischer-Hinnen [1]. On y rencontre toujours le circuit suivant : induit, rhéostat, manette, induit. Au démarrage la manette est en 1 ; en marche normale, l'induit est branché directement sur la source et l'inducteur reçoit son courant par l'intermédiaire du rhéostat, ce qui n'a que peu d'importance, puisque le rhéostat est toujours très peu résistant par rapport à l'inducteur.

Mais en pratique, on peut rencontrer certaines difficultés. Soit un moteur de 180 ampères, 110 volts qui reçoit son courant d'une station centrale qui édicte certaines prescriptions relatives à la résistance des rhéostats de démarrage, afin de ne pas produire d'à-coups au moment de la mise en circuit des moteurs. Si l'on veut par exemple que le moteur démarre avec le $\frac{1}{4}$ de l'intensité normale, il faudra un rhéostat de 2,45 ohms. Si les inducteurs consomment 3,5 p. 100 de la puissance, soit 6,3 ampères, leur résistance est de 17,3 ohms. Si on les met en série avec le rhéostat, l'intensité d'excitation est réduite à 5,51 ampères, ce qui produit une élévation notable de la vitesse. Mais comme le montre la figure 3, il est très facile de se tirer d'affaire en ne branchant l'excitation que sur le troisième plot du moteur en a. En ce point, la valeur de la résistance de démarrage restant en circuit est telle que le moteur soit parcouru par le courant normal. Le moteur ne démarre pas encore, puisque le couple de démarrage est supérieur au couple normal, mais les inducteurs sont déjà excités normalement et en continuant à déplacer la manette le moteur démarre.

Un autre dispositif a été indiqué par Menges [2] et est représenté figure 4. L'inducteur reçoit immédiatement la tension normale. Mais au moment de l'arrêt, le courant des inducteurs varie plus rapidement que dans la méthode précédente, si l'on a un grand moteur qui ne démarre qu'au plot a, car la force contre-électromotrice de l'induit doit vaincre la résistance totale de l'inducteur et du rhéostat.

E. Beutom.

(1) *Elekt. Zeits.*, p. 93, 1898. *Écl. Élect.*, t. XV, p. 94 et 407 ; 1898.

(2) *Elek. Zeits.*, p. 732, 1897 ; *Écl. Élect.*, t. XV, p. 93 et 403 ; 1898.

DIVERS

Ionisation des gaz traversés par un courant: décharge unipolaire à la surface des corps incandescents, par **J. Stark**. *Dr. Ann.*, p. 402-416, février 1901.

D'après J.-J. Thomson, l'ionisation d'un gaz, c'est-à-dire la séparation des molécules en ions, serait due uniquement au choc des ions en mouvement : elle pourrait se produire seulement quand la vitesse des ions, par conséquent l'intensité du champ, dépasse une certaine limite.

M. Stark pense qu'il ne faut pas mettre de côté toute action directe du champ.

La séparation d'une molécule en ses ions exige une certaine dépense de travail : ce travail est égal à la variation d'énergie potentielle que subit le système des deux ions en passant de l'état libre à l'état combiné. L'ionisation se produit quand l'énergie cinétique de la particule en mouvement qui vient heurter la molécule, plus le travail que peut fournir le champ électrique, donne une somme au moins égale à cette variation d'énergie potentielle.

Si la température n'est pas très élevée, l'énergie cinétique provient aussi pour la plus grande partie de l'action du champ. La somme en question est alors fonction du champ et celui-ci doit être supérieur à une certaine limite pour que l'ionisation soit possible.

L'énergie potentielle des ions est fonction de la température absolue T et d'une constante k caractérisant la substance considérée : l'énergie cinétique communiquée à un ion par le champ F dépend d'une constante x_p (ou x_n) et du chemin moyen de l'ion l_p (ou l_n).

On peut donc exprimer la condition pour que l'ionisation se produise par une certaine équation :

$$f(\mathrm{F}, k, x, l) = 0$$

Il est difficile de représenter par une fonction analytique la différence de potentiel limite au-dessous de laquelle un courant autonome cesse de passer dans un gaz. Par courant autonome, il faut entendre un courant qui donne naissance lui-même aux ions qui lui servent de véhicule. Cette limite dépend en effet des dimensions de la trajectoire du courant. Cependant pour chaque intensité du courant, il existe une différence de potentiel au-dessous de laquelle ce dernier n'est plus possible.

Tout ce qui précède suppose implicitement que, déjà avant l'apparition du champ, le gaz renferme quelques ions libres. Ces ions, entrant en mouvement sous l'action du champ, provoqueront, par leur choc, l'ionisation d'autres molécules,

S'il n'y a pas d'ion libre, il faudra que le champ croisse assez pour que son action soit égale à celle de l'attraction qui tient unis les ions d'une molécule neutre. Mais dès qu'il s'est séparé quelques ions, on peut abaisser le champ jusqu'à la limite donnée par l'équation $f = 0$, sans supprimer le courant. C'est le phénomène du retard à la décharge.

Pour une force électromotrice donnée, l'ionisation ne peut croître sans limite : il se forme sans cesse des ions, mais par contre, il en disparaît sans cesse qui reforment des molécules neutres. L'état stationnaire est réalisé quand le nombre des ions qui disparaît est égal à celui des ions qui sont libérés dans le même temps.

Le nombre des ions libres varie non seulement par la décomposition et la recomposition des molécules neutres, mais aussi par la diffusion et la différence de concentration provoquée par l'action électrique [1].

On a nié la possibilité d'un régime d'ionisation stationnaire : mais les conditions nécessaires à l'établissement de ce régime peuvent être réalisées si l'intensité du champ est suffisante.

Les ions positifs et les ions négatifs ne se comportent pas d'une manière identique. Toutes choses égales d'ailleurs, on parvient à donner aux ions négatifs une quantité d'énergie cinétique plus grande qu'aux ions positifs. Il est vraisemblable que le chemin moyen des ions négatifs l_n est plus grand que celui des ions positifs l_p : alors l'énergie cinétique moyenne des premiers dans un champ F, c'est-à-dire $\mathrm{F}l_n$ est plus grande que celle des autres, $\mathrm{F}l_p$. Il en résulte que la force électromotrice limite est plus petite pour les ions négatifs que pour les positifs. Lorsque les deux limites sont très différentes, la forme de la décharge dépend essentiellement des ions négatifs; en particulier, l'intensité du courant dépend surtout des conditions au voisinage et à la surface de la cathode.

En réalité l'énergie cinétique des ions et par suite l'ionisation ne sont pas proportionnelles à

[1] Cf. Stark, *Écl. Élect.* t. XXVII, p. 295, mai 1901.



l'intensité que présente le champ au point considéré. En effet, sous l'action du champ, un ion se met en mouvement et éprouve un certain déplacement sans perdre rien de son énergie cinétique : il peut donc arriver ainsi dans une région où le champ est plus faible et y posséder encore une énergie cinétique plus grande que dans la région où le champ est plus intense, en d'autres termes, l'ionisation est décalée par rapport au champ dans la direction du déplacement des ions. La grandeur moyenne de ce décalage dépend du chemin moyen des ions. Si le champ est uniforme, ce décalage ne se remarque pas et l'ionisation peut être représentée par l'intensité du champ au même point. Il n'en est plus ainsi quand le champ cesse d'être uniforme : les maxima d'ionisation sont alors déplacés par rapport aux maxima du champ. Ce déplacement joue un grand rôle dans les stratifications.

Le choc des molécules neutres est susceptible aussi de produire l'ionisation, si comme on l'a admis, ce phénomène dépend seulement de l'énergie cinétique de la particule en mouvement. Dans un champ nul, l'élévation de température pourra provoquer une ionisation, parce qu'à température élevée l'énergie cinétique d'une molécule est plus grande que l'énergie potentielle du système d'ions.

Si le champ n'est pas nul, l'énergie cinétique d'un ion est égale à la somme de deux termes : l'un dépendant de la température, l'autre du champ électrique; elle est donc en moyenne plus grande que celle d'une molécule neutre, sur laquelle le champ n'a pas d'action. L'ionisation due au champ se produira donc plus tôt que celle qui est due à l'action seule de la température. La différence de potentiel limite, pour un même corps décroît donc quand la température s'élève.

A la surface d'un corps incandescent, la différence de potentiel limite peut devenir très petite : elle est toujours plus petite pour les ions négatifs que pour les ions positifs, ce qui peut s'expliquer par la présence sur la surface du corps d'une couche mince de gaz ionisé. M.-L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ DES ÉLECTRICIENS DE BERLIN

Séance du 26 février 1901.

Le système de télégraphe multiple Baudot, par **Gralbert**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 282, 28 mars 1901.

Nous ne faisons que signaler cette communication, le système Baudot étant bien connu des lecteurs français.

Recherche des courants telluriques, par le prof. **Fœrster**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 331, 11 avril 1901.

Sur la proposition de Werner Siemens se forma en 1881 un comité ayant pour but la recherche des courants telluriques. C'est le résumé des travaux de cette commission que M. le professeur Fœrster présente à la société des électriciens, sous la forme d'un ouvrage in-8° avec atlas intitulé : « Les courants telluriques sur le réseau impérial allemand et leur relation avec les phénomènes magnétiques terrestres. »

La rédaction scientifique de cet immense amas de matériaux fut confiée à un physicien éminent, M. le professeur Weinstein, qui s'était déjà distingué par des recherches identiques.

M. Fœrster examine ensuite l'historique de la question. Les observations régulières sur les courants telluriques eurent lieu de 1882 à 1887 ; pendant ce laps de temps 22 000 lectures furent effectuées, lectures très exactes et comportant des mesures de fractions de millimètre.

Toutes ces mesures devaient être comparées aux observations correspondantes des observatoires magnétiques de Wilhelmshaven et de Vienne, ainsi qu'à celles des observatoires polaires internationaux, et principalement de l'observatoire allemand, qui possédait des mesures magnétiques très complètes pour 1882 et 1883.

Deux câbles furent posés, l'un entre Berlin et Dresde, dirigé sensiblement du nord au sud, l'autre entre Berlin et Thorn, orienté sensiblement de l'ouest à l'est. Les courants terrestres qui se divisent dans ces lignes métalliques, l'un suivant la composante nord-sud, l'autre suivant la composante ouest-est, étaient enregistrés, sur la ligne Berlin-Dresde, par un enregistreur Siemens, sur l'autre ligne, par un appareil photographique qui travaillait concurremment avec un

galvanomètre à miroir Siemens, muni d'un amortisseur métallique.

M. Weinstein publia ses premiers résultats à l'Académie des sciences en 1886. Il ne fut pas possible à cette époque de donner des résultats exacts ; on ne pouvait affirmer que quelques points, entre autres que les grandes variations des courants telluriques se comportaient vis-à-vis des forces magnétiques terrestres, comme un courant qui entoure un galvanomètre.

Toutes les variations de direction ou d'intensité du courant terrestre se présentaient, sur l'un des câbles, comme les oscillations de la déclinaison notées dans les observatoires magnétiques ; sur l'autre câble, comme les oscillations de la composante horizontale mesurées dans ces observatoires, et ceci d'une façon si exacte, que l'on essaya de déterminer la différence de longitude entre Berlin et Wilhelmshaven, où les annotations magnétiques étaient faites, en notant d'une part le début des variations magnétiques à Wilhelmshaven, et d'autre part l'apparition des oscillations telluriques à Berlin. Le résultat fut exact à la seconde.

Sans nous attarder à suivre le conférencier dans l'examen des faits connus sur la relation qui existe entre les courants telluriques, les variations de la surface solaire et les aurores boréales, nous arriverons de suite aux résultats obtenus par la commission.

Un résultat très important est la relation parfaite qui existe entre la marche de la période quotidienne de la composante verticale du magnétisme terrestre et la période quotidienne du courant tellurique. Le maximum de la période quotidienne du courant tellurique, dans le milieu de son parcours, correspond presque exactement avec le maximum de la période quotidienne de la composante verticale.

Ici se pose la question : Quelle est la première des deux apparitions ?

Nous ne suivrons pas M. le professeur Fœrster dans ses hypothèses et nous ne retiendrons que sa conclusion : « C'est que les oscillations des courants telluriques donnent naissance aux variations magnétiques terrestres. »

M. le professeur Weinstein indique que pour les courants telluriques, les variations de son intensité et de sa direction n'entrent pas seules en jeu, mais également la position relative de ce que nous appellerons la surface du courant. Les observations dans les lignes ne peuvent donner de renseignements là-dessus, car elles se rapportent à des éléments trop faibles vis-à-vis de la grandeur des courants telluriques.

La position relative de cette surface de courant a beaucoup d'importance, malheureusement il a été impossible de déterminer jusqu'ici ses variations de position, en sorte qu'il reste bien des lacunes dans l'interprétation des rapports qui existent entre les phénomènes magnétiques terrestres et les phénomènes telluriques.

M. Weinstein a cependant découvert bien des particularités sur ces rapports dans ses diagrammes et sur les courbes qui indiquent les oscillations quotidiennes des composantes des courants terrestres et du magnétomètre.

Mais comment se produisent ces variations de la surface du courant ? L'auteur les explique de la manière suivante :

Il semble de plus en plus probable, depuis les progrès de la science, que les phénomènes lumineux polaires ont un caractère électrique, et indiquent des courants qui se propagent entre les couches supérieures de l'atmosphère, les couches inférieures, et pénètrent à l'intérieur du globe terrestre, et ne produisent en général une lumière claire que dans les couches élevées.

Il est certain que de semblables courants dans l'atmosphère influencent très fortement les courants électriques dans le globe terrestre et que, par suite, des variations dans les positions des surfaces de courants du courant terrestre peuvent se produire.

De toutes ces recherches on peut tirer des conclusions pour une étude générale de ces phénomènes :

Il faudrait organiser sur différents points du globe des observatoires chargés de noter les variations des courants telluriques, d'après une convention internationale ; en même temps des observations correspondantes des phénomènes magnétiques et de lumière polaire seraient effectuées ainsi que le relevé de l'état électrique de l'atmosphère.

Il faudrait également faire des observations complètes sur les phénomènes solaires, et particulièrement sur ceux qui présentent des relations avec les courants telluriques ou l'électricité atmosphérique.

F. Diény.

Le Gérant : C. NAUD.



Tome XXVIII. Samedi 20 Juillet 1901. 8e Année. — N° 29

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

EXPOSITION UNIVERSELLE

ALTERNATEUR DE 650 KILOVOLTS-AMPÈRES DES ATELIERS D'OERLIKON

Nous avons décrit précédemment deux des alternateurs exposés par les ateliers d'Oerlikon ; un troisième alternateur du type à flux ondulé, était accouplé à une turbine Piccard, Pictet et Cie, de Genève.

Cet alternateur à courants triphasés a une puissance apparente de 650 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance minimum de 0,8. La puissance utile est donc de 520 kilowatts.

La tension aux bornes est de 7500 volts, soit 4330 volts par phase, l'induit étant groupé en étoile. Le débit par phase est de 50 ampères.

La vitesse angulaire est de 250 tours par minute, ce qui, avec 12 saillies par couronne correspond à une fréquence de 50 périodes par seconde.

La photographie de la figure 1 est une vue de l'alternateur. Les figures 2 et 3 montrent des vues d'ensemble avec coupe partielle par l'axe d'un alternateur de mêmes dimensions, mais établi pour 40 périodes seulement et les figures 4 et 5 des coupes et vues d'une partie de l'induit et de l'inducteur.

Inducteur. — L'inducteur mobile est constitué par une couronne en acier coulé boulonné sur un support en fonte claveté sur l'arbre. Les 6 bras du support sont doubles et solidement nervurés.

Le diamètre extérieur de cette couronne est de 189 cm et sa largeur de 92 cm. L'épaisseur est de 12,5 cm.

Les saillies polaires sont disposées en deux séries et placées en regard les unes des autres. Elles sont formées par une pile de tôles feuilletées et présentent une rainure en

**

queue d'aronde dans laquelle est glissée une clavette de même forme fixée à la jante par deux boulons la traversant complètement.

Les saillies dont, les bords parallèles à l'axe sont légèrement abattus, ont une hauteur radiale de 15 cm ; leur largeur dans le sens de l'axe est de 23,5 cm et leur largeur dans le sens perpendiculaire, de 23 cm.

Le diamètre extérieur de l'inducteur est de 219,2 cm et l'entrefer de 4 mm.

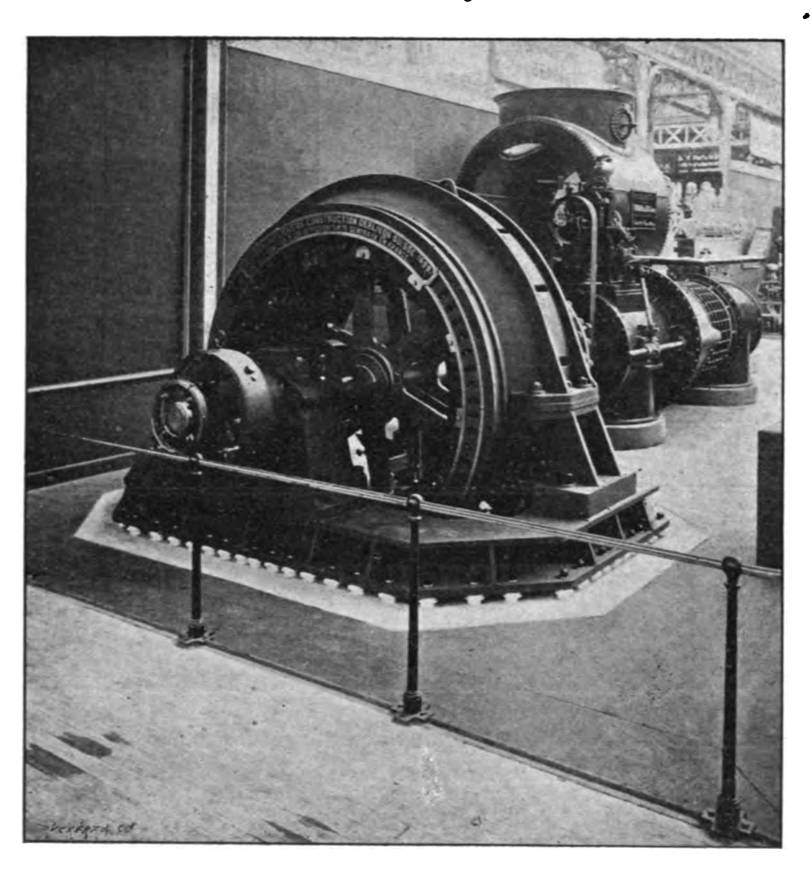


Fig. 1. — Alternateur à courants triphasés de 650 kilovolts-ampères des ateliers d'Oerlikon.

La bobine inductrice est en deux parties ; elle est placée entre les deux séries de saillies et est centrée par rapport à l'inducteur à l'aide de supports en forme de T qui la retiennent après la carcasse de l'induit.

Les deux parties de l'enroulement inducteur sont constituées par une bande de cuivre de 6 cm de largeur et de 2 mm d'épaisseur, le nombre de spires de chaque partie est de 83 et les deux demi-bobines sont groupées en série.

Le nombre de spires total est donc de 166 ; et le circuit ainsi formé a une résistance de 0,2 ohm à froid.

Le poids du cuivre inducteur est de 1 250 kg, celui de la partie mobile complète atteint 7 600 kg.

Induit. — La carcasse supportant les anneaux induits est formée par une couronne en fonte, en deux parties, et de section trapézoïdale. Cette carcasse présente dans sa partie cylindrique 12 fentes radiales destinées à assurer la ventilation de la bobine inductrice.

Le diamètre extérieur maximum de cette carcasse est de 309 cm et sa largeur de 90 cm. Le diamètre intérieur est de 254 cm.

Les couronnes de tôles de l'induit sont serrées par des boulons entre deux anneaux venus de fonte avec la carcasse et deux anneaux en deux parties s'embéquetant sur cette carcasse.

Les anneaux rapportés supportent deux disques de protection percés d'ouvertures oblongues.

Le diamètre extérieur des noyaux de tôles est de 254 cm et leur hauteur radiale de 17 cm. Le diamètre d'alésage des induits est de 220 cm et la largeur de chacune des couronnes, de 25 cm.

Sur les deux induits sont pratiquées 72 rainures, 2 par saillie et par phase, lesquelles reçoivent deux enroulements triphasés constitués par des bobines enroulées sur gabarit et isolées par des gaines en micanite. Ces bobines sont maintenues dans les rainures par des cales en fibre glissées dans de petites rainures triangulaires pratiquées sur les bords des dents.

Chaque induit comporte 12 bobines par

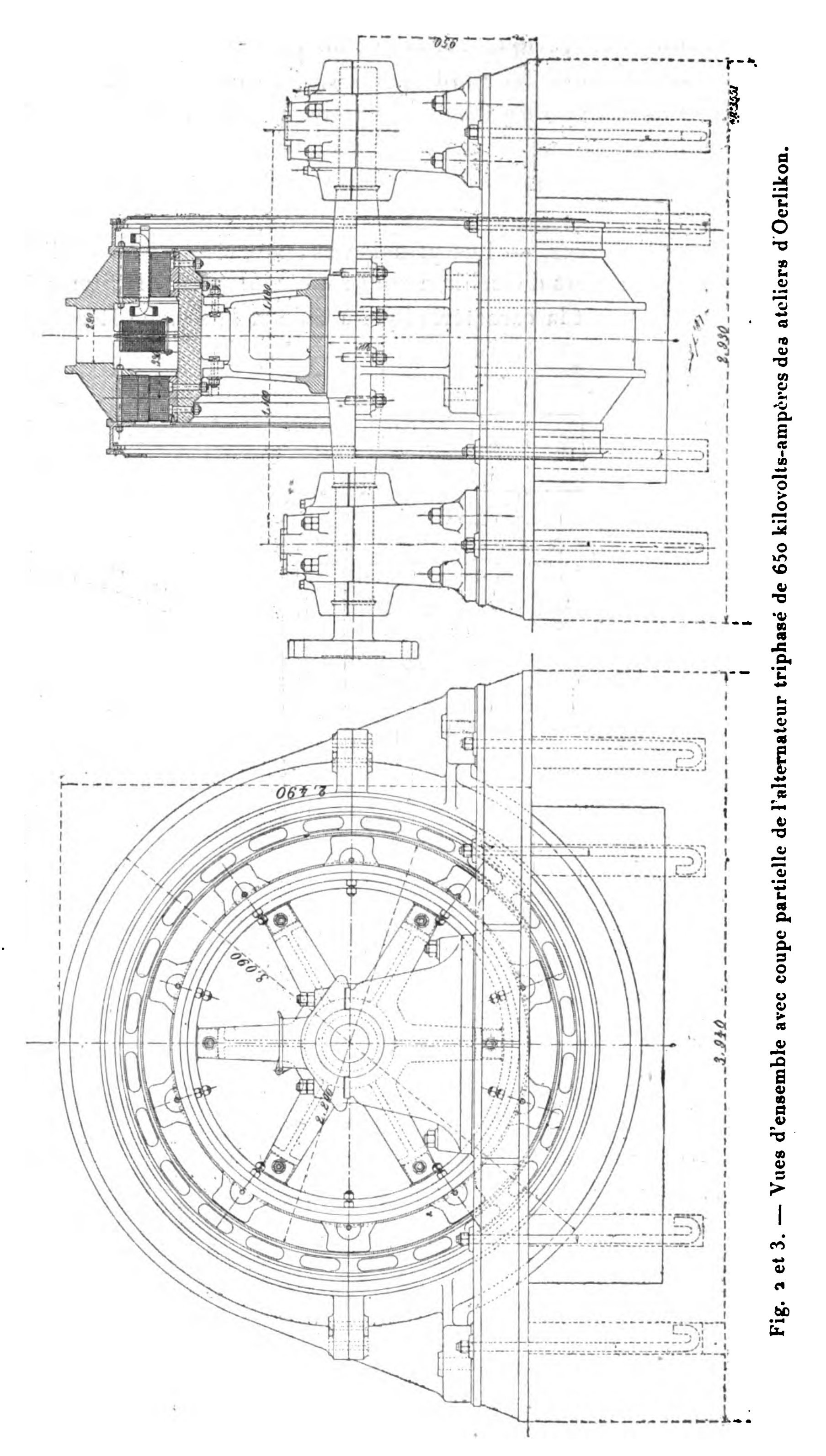


Fig. 2 et 3. — Vues d'ensemble avec coupe partielle de l'alternateur triphasé de 650 kilovolts-ampères des ateliers d'Oerlikon.

phase. Chaque bobine est formée de 33 spires de deux fils de 3,2 mm de diamètre enroulés en parallèle. Les 12 bobines de chaque phase sont montées en série ainsi que les phases correspondantes des deux induits. La résistance de chaque phase ainsi composée de l'alternateur est de 1,37 ohm à chaud. Le poids du cuivre utilisé sur l'induit est de 600 kg.

Le poids de la partie fixe est de 15 400 kg.

Les prises de courants de l'induit et de l'inducteur sont placées à la partie inférieure de la machine.

Résultats d'essais. — Les principales caractéristiques de l'alternateur de 650 kilovolts-ampères des ateliers d'Oerlikon sont représentées sur la figure 6.

La courbe I est la caractéristique à vide et la courbe II celle en court-circuit.

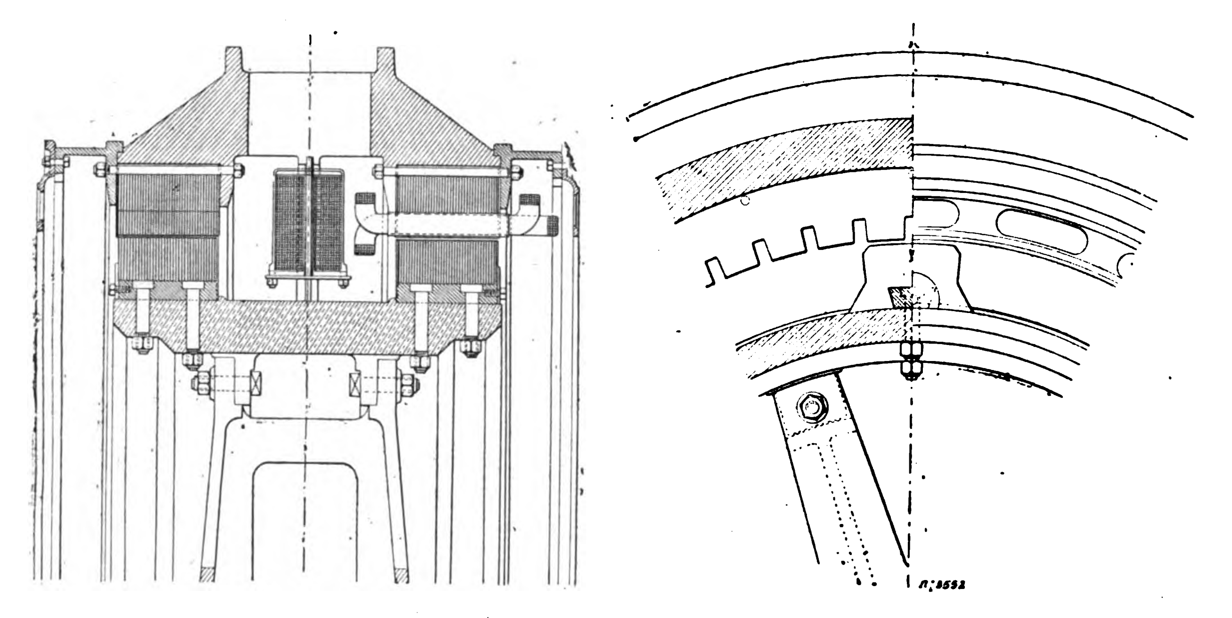


Fig. 4 et 5. — Coupes et vues d'une partie de l'induit et de l'inducteur de l'alternateur de 650 kilovolts-ampères des ateliers d'Oerlikon.

L'intensité du courant d'excitation correspondant à la marche à vide est de 56 ampères ; celle nécessaire pour obtenir l'intensité normale en court-circuit est de 31 ampères.

Deux points de régime en charge obtenus expérimentalement ont été représentés sur la figure. L'un correspond à un débit de 46 ampères, soit une charge réelle de 480 kilowatts avec un facteur de puissance de 0,8. L'excitation correspondante est de 80 ampères et la chute de tension de 19 p. 100.

Le second point se rapporte à une charge réelle de 910 kilowatts avec un facteur de puissance de 0,7 ; c'est une charge double de celle de la charge normale et avec un facteur de puissance un peu plus faible que le facteur normal. L'excitation correspondante est de 130 ampères.

Ce régime, qu'il n'est possible de maintenir que quelques instants, montre la grande capacité de surcharge de cette machine.

Au régime normal de 50 ampères de débit par phase, avec un facteur de puissance de 0,8, l'intensité du courant d'excitation serait de 90 ampères. La chute de tension est alors de 25 p. 100.



Le rendement à charge normale est de 93,5 p. 100.
Les pertes se décomposent ainsi :

Pertes à vide	24 300 watts
Pertes par effet Joule dans l'induit	10 300 »
Pertes par effet Joule dans l'inducteur . . .	1 810 »
Pertes totales	36 410 watts.

Excitatrice. — L'excitatrice, non représentée sur les figures 2 et 3, est calée sur l'arbre en porte-à-faux.

Sa puissance est de 3 600 watts sous une tension d'environ 30 volts.

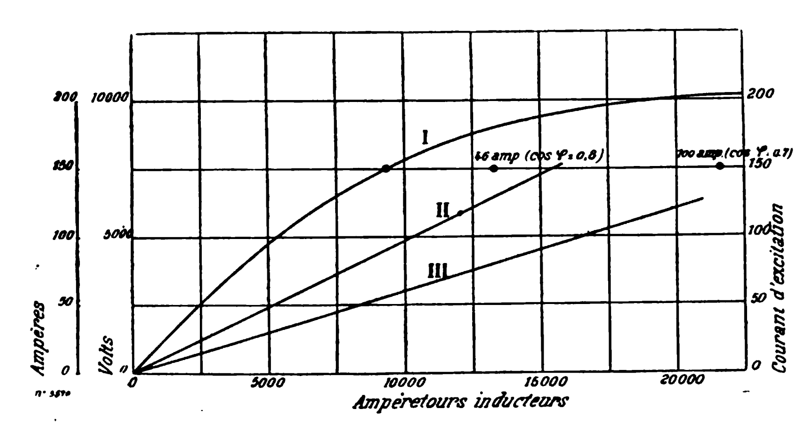


Fig. 6. — Caractéristiques de l'alternateur de 650 kilovolts-ampères d'Oerlikon.
I. Caractéristique à vide. — II. Caractéristique en court-circuit.

Elle est à 4 pôles et excitée en dérivation, l'inducteur en acier est annulaire ; les noyaux polaires sont fixés à l'aide de vis.

L'induit denté est enroulé en tambour multipolaire en quantité, type Arnold.

TRANSFORMATEUR ROTATIF DE 200 KILOWATTS DES ATELIERS D'OERLIKON

Le transformateur rotatif exposé par les ateliers d'Oerlikon, identique à ceux déjà installés par cette importante maison à la sous-station de Selnau, à Zurich, était constitué par un moteur asynchrone triphasé de 300 chevaux attelé directement à une dynamo à courant continu de 200 kilowatts, d'un type spécial.

Le transformateur rotatif des ateliers d'Oerlikon est représenté sur la photographie de la figure 1. La figure 2 en est une vue d'ensemble.

Moteur. — Le moteur asynchrone triphasé du groupe transformateur des ateliers d'Oerlikon a une puissance utile normale de 290 chevaux sous une tension aux bornes de 1 950 volts et une tension simple de 1125 volts.

La puissance vraie absorbée par l'inducteur en charge est de 222 kilowatts et le facteur de puissance de 0,9 ; la puissance apparente est par suite de 247 kilovolts-ampères et correspond à une intensité de 72,2 ampères par phase.

La fréquence des courants dans les inducteurs est de 50 périodes par seconde et la vitesse qui correspondrait au synchronisme de 375 tours par minute ; le nombre de pôles est de 16.

Le moteur est représenté sur les figures 3 et 4 qui sont des vues d'ensemble avec coupes partielles. Les figures 5 et 6 sont des coupes et vues d'une partie de l'induit et de l'inducteur.

Inducteurs. — L'inducteur fixe est formé par une caisse cylindrique en fonte consolidée par quatre nervures annulaires courant le long de la surface de la caisse.

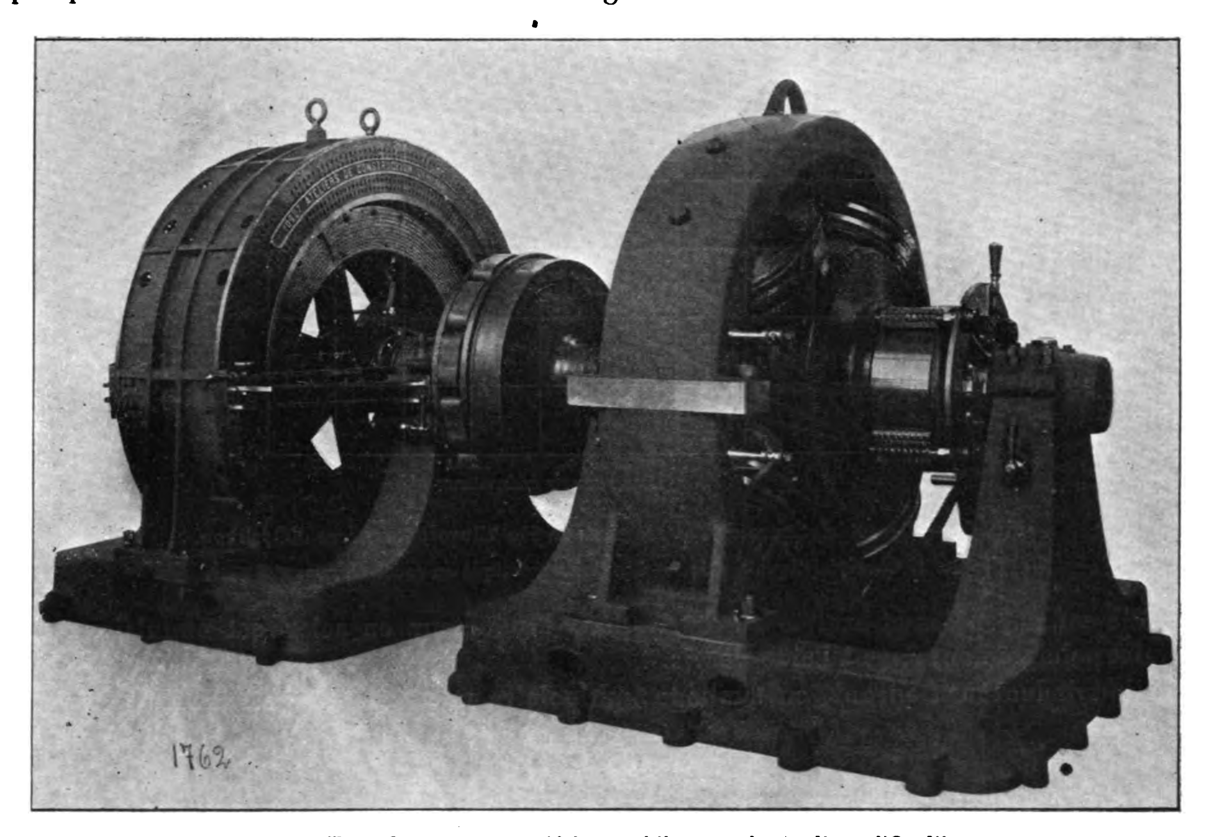


Fig. 1. — Transformateur rotatif de 200 kilowatts des ateliers d'Oerlikon.

Deux des nervures sont élargies à la partie inférieure et supportent les pattes par lesquelles l'inducteur repose sur son bâti. Les paliers à bague sont venus de fonte avec le bâti.

Deux protecteurs en tôle perforée sont rapportés sur les faces latérales de la caisse et protègent les enroulements. De nombreux trous circulaires sont ménagés dans la carcasse pour assurer une bonne ventilation.

Les tôles inductrices, en un seul noyau, sont serrées à l'aide de boulons entre un anneau venu de fonte avec la carcasse et un anneau rapporté.

Le diamètre extérieur maximum de la carcasse est de 204 cm et sa largeur de 62 cm.

Le diamètre extérieur du noyau de tôles de l'inducteur est de 193 cm et sa largeur de 22 cm. Le diamètre d'alésage est de 150 cm et la hauteur radiale des tôles de 21,5 cm.

L'entrefer est de 1,2 mm.

La surface intérieure de l'anneau inducteur est percée de 144 trous, soit 3 par pôle et par phase. Ces trous qui affectent près de l'entrefer une forme ogive reçoivent 24 bobines enroulées chacune dans 6 encoches et constituées par 24 spires de 3 fils de 3,6 mm de diamètre en parallèle. Le nombre de conducteurs distincts par encoche est donc de 8.

Les 8 bobines d'une même phase sont réunies en série et les 3 phases groupées en étoile. La résistance de chaque phase est de 0,159 ohm à froid et le poids de cuivre utilisé sur l'inducteur, de 24 kg.

Le poids de l'inducteur avec son bâti est de 5 600 kg.

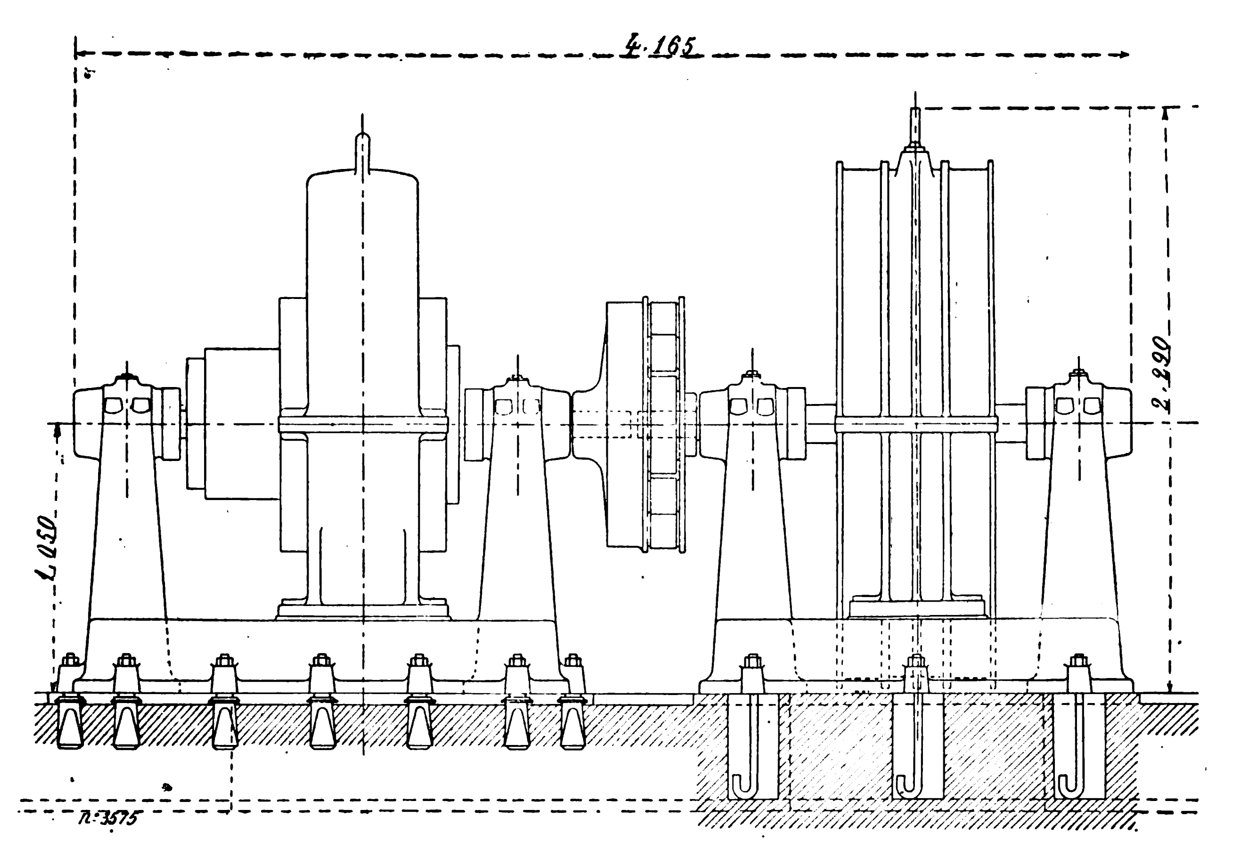


Fig. 2. — Vue d'ensemble du transformateur rotatif de 200 kilowatts des ateliers d'Oerlikon.

Induit. — L'induit mobile est supporté par la jante d'un volant en une seule pièce serrée sur l'arbre par deux anneaux en fer forgé posés à chaud.

Les tôles induites sont serrées, à l'aide de boulons, par deux anneaux en fonte portant des chevilles pour l'entraînement des parties extérieures des enroulements et deux séries de bossages destinées l'une conjointement avec les chevilles d'entraînement, à la fixation de protecteurs en tôle perforée et l'autre à supporter les connexions de l'enroulement aux bagues et à l'appareil de court-circuit.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 149,76 cm et sa largeur de 22 cm; le diamètre intérieur du noyau est de 112 cm, ce qui correspond à une hauteur radiale de 18,88 cm.

L'enroulement induit est un enroulement triphasé ordinaire monté en étoile et réparti dans 192 trous de forme analogue à ceux de l'inducteur, soit 4 par pôle et phase.

L'enroulement de chaque phase comporte 8 bobines de 4 spires disposées dans 8 enco-



ches. Le nombre de conducteurs distincts par encoches est par suite de 1 ; chaque conducteur est formé de 8 fils de 4,4 mm groupés en quantité.

Les 8 bobines d'une même phase sont montées en série et la résistance de l'induit par phase est de 0,007 ohm. Le poids de cuivre utilisé sur l'induit est de 160 kg.

Les trois extrémités libres aboutissent : d'une part, à 3 bagues collectrices en bronze clavetées sur l'arbre et, d'autre part, à trois contacts isolés fixés sur le moyeu.

Ces contacts peuvent être réunis entre eux par un appareil de court-circuit formé par une bague pouvant coulisser le long de l'arbre par l'intermédiaire d'un levier et portent des contacts qui viennent s'engager sur ceux fixés sur le moyeu.

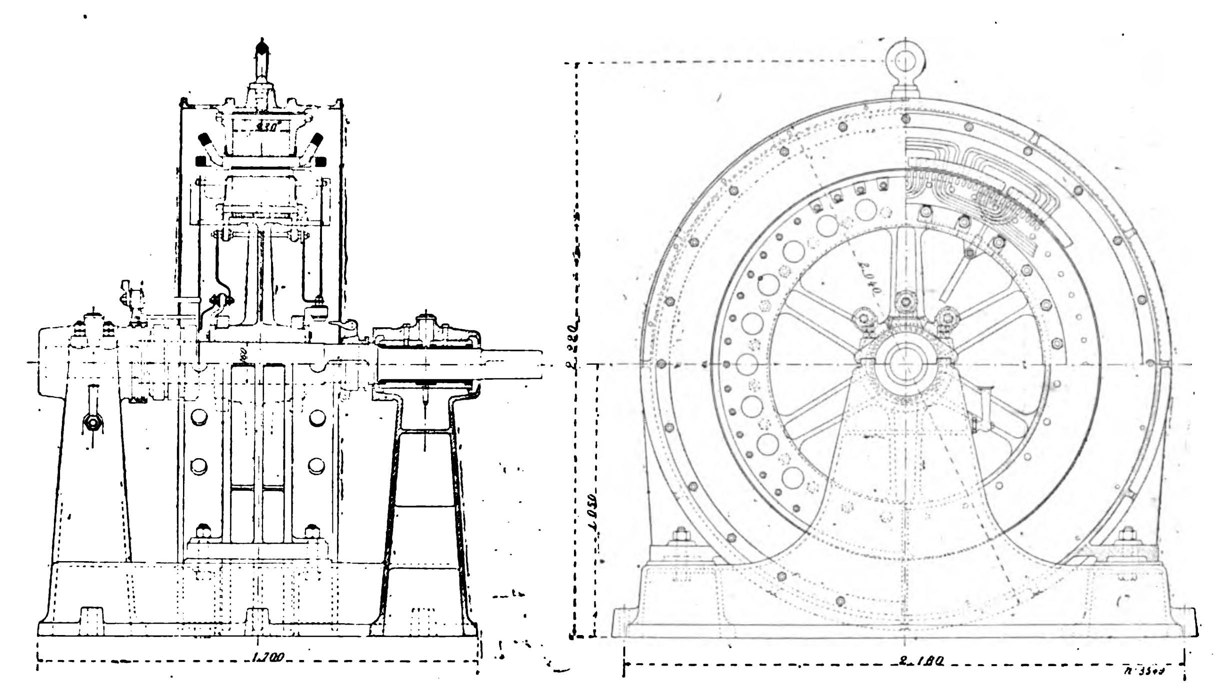


Fig. 3 et 4. — Vues d'ensemble avec coupes partielles du moteur de 300 chevaux du transformateur rotatif des ateliers d'Oerlikon.

Le diamètre des bagues collectrices est de 29,5 cm et leur largeur, de 4,5 cm.

Les courants sont amenés par trois séries de balais dont les axes son supportés par un balancier fixé sur un anneau venu de fonte avec l'un des paliers.

Un second anneau supporte un balancier muni de tiges parallèles à l'axe qui permettent de venir relever les balais dès que le moteur a atteint sa vitesse de régime et que l'induit a été mis en court-circuit par l'appareil spécial dont nous avons parlé plus haut.

Le démarrage se fait comme d'habitude en introduisant des résistances liquides dans les circuits induits.

Le poids de l'induit complet est de 2 900 kg.

L'accouplement du moteur et de la dynamo, du type Zodel, est effectué au moyen d'une courroie en cuir, enlacée dans les évidements à 2 anneaux concentriques, solidaires, l'un du moteur et l'autre de la dynamo.

Résultats d'essais. — Les résultats d'essais obtenus sur le moteur de 300 chevaux des ateliers d'Oerlikon sont représentés sur la figure 7.

La courbe η est celle du rendement effectif et la courbe $\eta_{app.}$, celle du rendement

apparent ou rapport entre la puissance utile et la puissance apparente, toutes deux en fonction de la puissance utile.

La courbe cos φ donne la valeur du facteur de puissance, et la courbe I la valeur du courant inducteur par phase pour chaque régime.

La figure donne également les valeurs des pertes par hystérésis et par frottement ainsi que les pertes par effet Joule dans l'inducteur et dans l'induit.

Toutes ces courbes correspondent à une tension aux bornes constante et égale à 1950 volts.

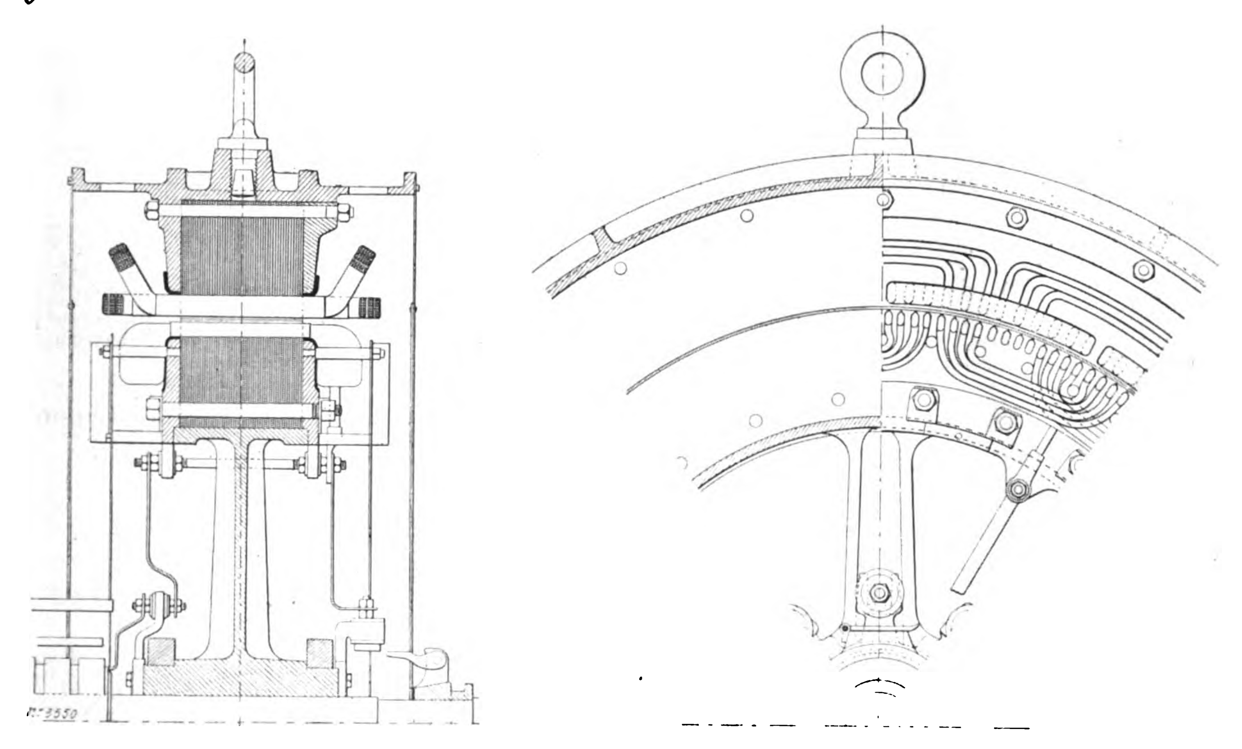


Fig. 5 et 6. — Coupes et vues d'une partie de l'induit et de l'inducteur du moteur de 300 chevaux du transformateur rotatif des ateliers d'Oerlikon.

Le glissement en charge est de 1,3 p. 100, et la vitesse de régime, par suite, de 370 tours par minute.

Le rendement déduit de la mesure des pertes séparées, est de 96 p. 100.

Dynamo. — La dynamo accouplée au moteur précédent a une puissance de 200 kilowatts soit une tension de 550 volts. Le débit est par suite de 365 ampères.

Cette machine à 4 pôles est représentée sur les figures 8 et 9 qui sont des vues d'ensemble avec coupes partielles; les figures 10 et 11 montrent des vues et coupes d'une partie de l'induit et de l'inducteur à plus grande échelle.

Inducteurs. — La carcasse inductrice est formée par une couronne cylindrique en acier coulé en deux parties. La partie enfermée porte deux pattes qui sont boulonnées sur le bâti portant les paliers à bagues venus de fonte.

Les noyaux polaires, également en acier, à section circulaire, reposent sur des parties planes dressées de la carcasse et y sont fixées chacun par deux boulons. Les épanouissements polaires sont venus de fonte avec les noyaux et retiennent les bobines inductrices.

***

Le diamètre extérieur maximum de la carcasse est de 199 cm et son diamètre intérieur de 165 cm. La largeur est de 44 cm.

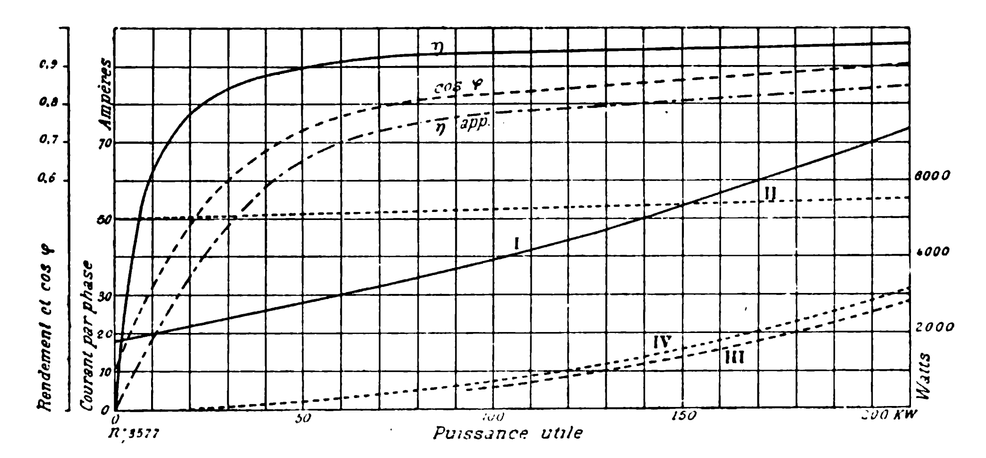


Fig. 7. — Caractéristiques d'un moteur asynchrone triphasé de 300 chevaux des ateliers d'Oerlikon.

η Rendement effectif en fonction de la charge sur la poulie. — η_{app} Rendement apparent. — I. Intensité du courant par phase. — II. Pertes par frottement, hystérésis et courants de Foucault. — III. Pertes par effet Joule dans l'inducteur. — IV. Pertes par effet Joule dans l'induit.

Les nóyaux polaires ont un diamètre de 42,5 cm ; les dimensions des épanouissements polaires sont de 48 cm dans le sens de l'axe et de 60 cm dans le sens perpendiculaire.

Le diamètre d'alésage est de 102 cm et l'entrefer de 10 cm.

L'enroulement est compound.

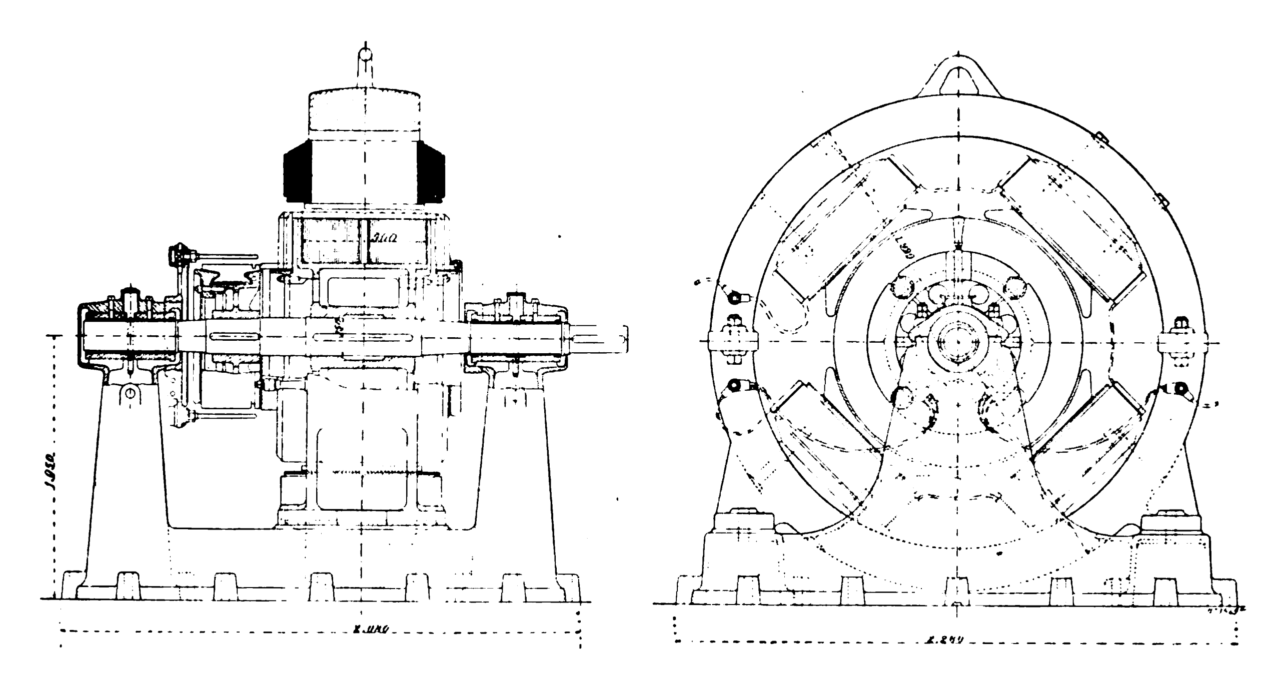


Fig. 8 et 9. — Vues d'ensemble avec coupes partielles de la dynamo de 200 kilowatts du transformateur rotatif des ateliers d'Oerlikon.

L'enroulement en dérivation se compose de 4 bobines enroulées sur des carcasses en



tôles et formées chacune de 3 200 spires de fil de 2 mm de diamètre. Les 4 bobines sont groupées en série et ont une résistance à froid de 118,6 ohms.

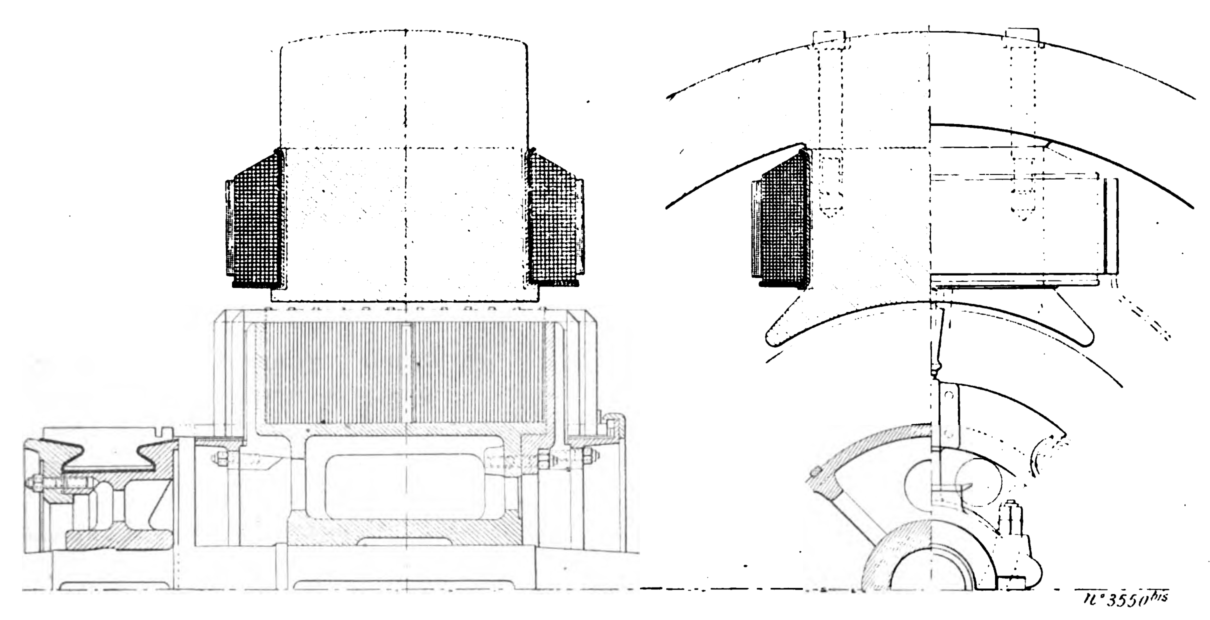


Fig 10 et 11. — Coupes et vues d'une partie de l'induit et de l'inducteur de la dynamo de 200 kilowatts du transformateur rotatif des ateliers d'Oerlikon.

Le circuit série est formé également de 4 bobines enroulées sur les précédentes et constituées par une bande de cuivre de 17 cm de largeur sur 2 mm d'épaisseur.

Le nombre de spires est alternativement de 3 et de 4 par bobine.

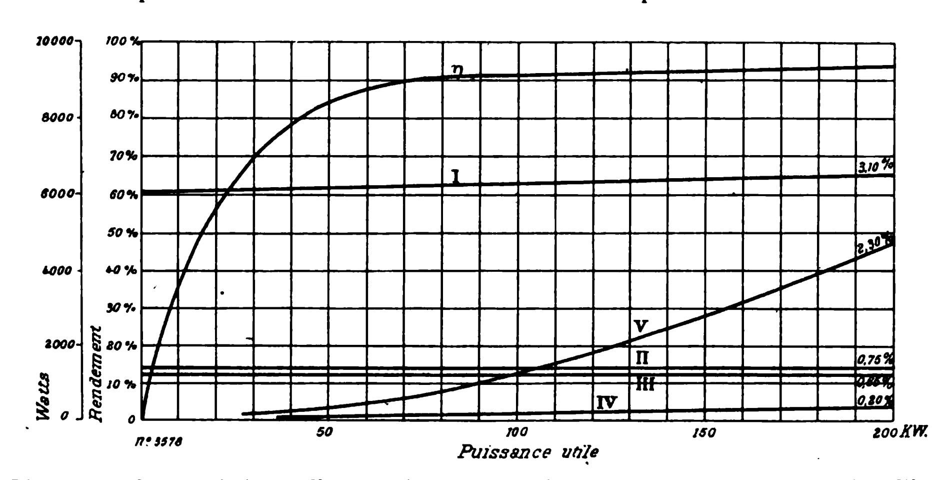


Fig. 12. — Caractéristiques diverses d'une dynamo de 200 kilowatts des ateliers d'Oerlikon.

η Rendement en fonction de la puissance fournie. — I. Pertes par hystérésis. — II. Pertes par ventilation et frottements — III. Pertes par excitation shunt. — IV. Pertes par excitation compound. — V. Pertes par effet Joule dans l'induit.

Ces 4 bobines sont également montées en séries, leur résistance totale est de 0,0015 ohm à froid.

Le poids du cuivre inducteur tant série que shunt est de 700 kg.

Le poids de l'inducteur sans le bâti est de 2 200 kg.



Induit. — L'induit est supporté par une couronne en fonte soutenue par deux anneaux réunis entre eux par des nervures et venus de fonte avec un moyeu claveté sur l'arbre.

Les deux anneaux sont percés de trous pour alléger le support.

Les tôles induites réparties en deux noyaux, séparés par des cales évents en bronze, sont entraînées par des clavettes et serrées entre un anneau venu de fonte avec le support et un second anneau s'embéquetant sur ce support sur les bras duquel il est fixé.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 100 cm et sa largeur de 50 cm y compris celle de l'espace ménagé entre les deux noyaux, qui est de 25 mm.

La hauteur radiale des tôles est de 20,5 cm.

L'enroulement induit en tambour multipolaire série-parallèle, avec 4 circuits en parallèle, est réparti dans 240 rainures comprenant chacune 2 barres de 22 mm de largeur et 1,4 mm de hauteur.

Les barres sont repliées à leurs extrémités de façon à former des développantes qui sont soudées dans des gouttières en cuivre retenues, du côté opposé au collecteur, contre l'action de la force centrifuge, par un anneau isolé en fonte. Cet anneau est placé sur l'un des anneaux fixés au support de l'induit par des vis et maintenant les gouttières dont ils sont également isolés.

Les 480 conducteurs sont groupés ainsi en 240 sections d'une seule spire aboutissant aux 240 lames du collecteur.

Ce dernier est constitué par un support claveté sur l'arbre et sur lesquelles les lames isolées au mica sont serrées par un anneau vissé dans des oreilles venues de fonte avec le support.

Le diamètre du collecteur est de 58 cm et sa largeur de 20 cm.

Les axes des porte-balais au nombre de 4 sont fixés sur un support annulaire en deux parties pouvant tourner autour d'un anneau venu de fonte avec le palier.

Chacune des quatre lignes de balais comporte 8 balais en charbon.

La résistance de l'induit entre balais est de 0,034 ohm à chaud.

Le poids total de l'induit est de 2 400 kg dont 200 kg pour le cuivre de l'enroulement.

Résultats d'essais. — Le courant d'excitation nécessaire pour obtenir la tension normale à vide est de 2,25 ampères.

Les courbes de la figure 12 représentent les différentes pertes de la machine en fonction de la charge.

La courbe I est celle des pertes par hystérésis et courants de Foucault et la courbe II, celle des pertes par frottements et ventilation.

Les courbes III et IV se rapportent aux pertes dans les deux circuits d'excitation et la courbe V aux pertes par effet Joule dans l'induit.

Le rendement déduit de ces pertes mesurées par la méthode des pertes séparées est de 94 p. 100.

Les élévations de température au-dessus de l'air ambiant sont de 25° dans les coussinets, 45° dans les bobines inductrices fixes, 45° dans l'armature mobile, 50° sur le collecteur et 50° dans toutes les autres parties de la machine.

Remarques. — Les transformateurs rotatifs des ateliers d'Oerlikon, employés généralement dans les stations de tramways, ont une très grande capacité de surcharge ; le transformateur de 200 kilowatts peut en particulier fontionner à 250 kilowatts pendant plusieurs heures.



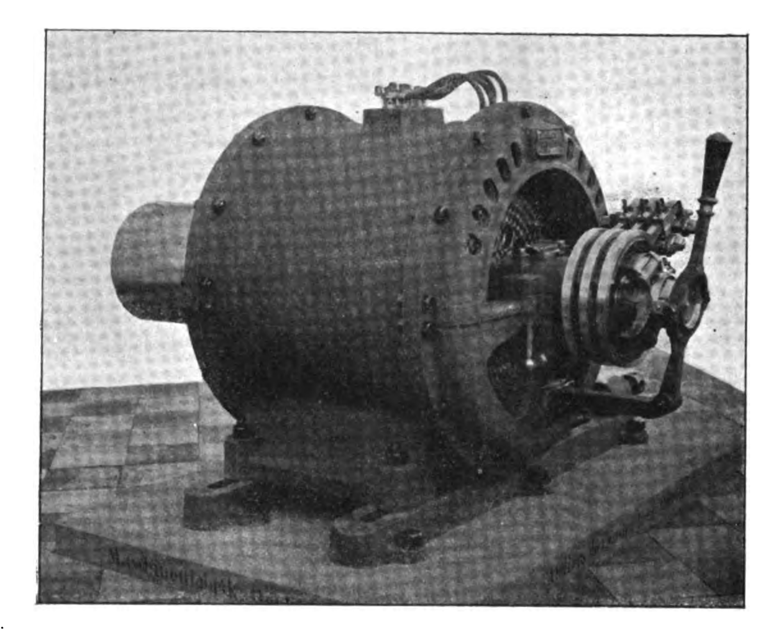
MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS DES ATELIERS D'OERLIKON

Les moteurs à courants triphasés des ateliers d'Oerlikon sont groupés en 3 séries, deux à basse tension et une à haute tension.

La première série de moteurs à basse tension comprend 11 types de petits moteurs de 1/2 cheval à 12 chevaux; ces moteurs ont un induit à cage d'écureuil et ne comportent pas, par suite, de dispositif de démarrage.

Ces moteurs ont un très grand couple au démarrage ; leur enroulement induit est fait en fil de cuivre ou de laiton nu.

Les moteurs de la seconde série comportent des résistances de démarrage dans l'induit. A partir de 20 chevaux, ces moteurs sont munis d'un dispositif permettant d'établir le court-circuit de l'induit sur le rotor lui même, et d'un dispositif soulevant les balais aussitôt le court-circuit établi.


Fig. 1. — Moteur asynchrone triphasé de 13 chevaux, des Ateliers d'Oerlikon.

Les moteurs de ces deux séries sont établis pour 190 volts ou pour 380 volts.

Les moteurs de la troisième série comprennent 13 types de 20 chevaux à 550 chevaux; les tensions normales sont de 1750, 3 400 et 5 000 volts.

Le moteur du transformateur rotatif décrit plus haut peut servir d'exemple pour les moteurs de cette dernière série.

Nous donnerons en outre la description d'un moteur de la seconde série, celui de 13 chevaux. Ce moteur est représenté sur la photographie de la figure 1 et sur les figures 2 et 3. Il est établi pour une puissance normale de 14 chevaux pour des courants d'alimentation de 50 périodes par seconde.

La tension aux bornes est de 190 volts, soit 110 par phase, l'inducteur étant groupé en étoile.

La vitesse correspondant au synchronisme est de 1000 tours, le moteur ayant 6 pôles.

L'inducteur est constitué par un noyau en tôles lamellées serré dans une caisse cylindrique en fonte entre un anneau venu de fonte avec la caisse et un second anneau retenu dans une rainure pratiquée dans la caisse.

Cette dernière porte les pattes par lesquelles elle est fixée sur les rails tendeurs. Sur les deux faces de la caisse sont boulonnées deux flasques, chacune en deux parties, portant les paliers à bagues.

Le diamètre extérieur de la carcasse est de 54 cm et sa largeur, non compris les flasques, de 36 cm.

Le diamètre extérieur du noyau inducteur est de 44 cm, et sa hauteur radiale, de 7,75 cm.

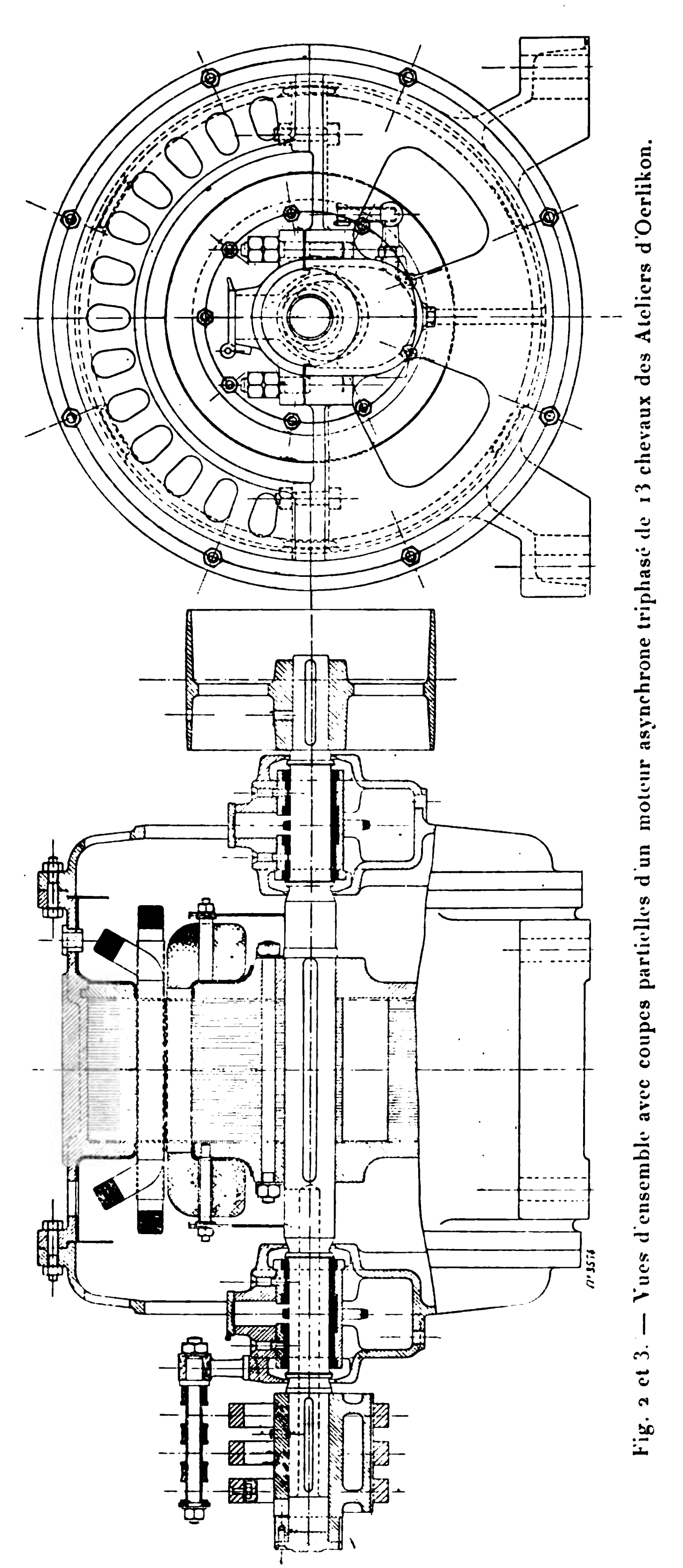


Fig. 2 et 3. — Vues d'ensemble avec coupes partielles d'un moteur asynchrone triphasé de 13 chevaux des Ateliers d'Oerlikon.

Le diamètre d'alésage est, par suite, de 29 cm. La largeur du noyau parallèlement à l'axe est de 14,5 cm et l'entrefer de 0,6 mm.

La surface intérieure de l'inducteur est percée de 72 trous de section en forme d'ogive près de l'entrefer, soit 3 par phase et par pôle.

L'enroulement inducteur est réparti en 9 bobines, 3 par phase.

Les 3 bobines de chaque phase sont enroulées dans 8 trous et comportent 20 spires de fil de 4,4 mm de diamètre; le nombre de conducteurs par trous est par suite de 5.

La résistance de l'inducteur par phase est de 0,065 ohm et le poids du cuivre utilisé sur l'inducteur de 18 kg.

Le poids de la partie fixe est de 330 kg. L'induit est formé par un noyau de tôles feuilletées, claveté sur l'arbre et serré par des boulons entre deux disques en fonte. Il est muni de 96 trous de forme analogue à celle de l'inducteur et dans lesquels sont enroulés les circuits induits.

Ceux-ci sont entraînés et retenus contre les disques de serrage par des entraîneurs vissés dans les disques et servant en même temps de supports à des protecteurs en tôle perforée.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 28,88 cm et sa largeur de 14,5 cm; la hauteur radiale des tôles est de 6,5 cm.

L'enroulement induit comporte 48 bobines élémentaires enroulées chacune dans 2 trous. Chacune de ces bobines est formée de 2 spires de 4 fils de 2,8 mm enroulés en parallèle.

Deux des phases comprennent 15 bobines élémentaires en série et la troisième 18.

La résistance moyenne de chaque phase est de 0,02 ohm et le poids de cuivre utilisé sur l'induit de 15 kg.

Les 3 phases de l'induit sont groupées en étoiles et les extrémités libres des circuits abou-

tissent, par des conducteurs passant à travers l'arbre creusé à cet effet, à 3 bagues de contact en bronze, montées sur un support claveté sur l'arbre et en porte-à-faux.

Le diamètre de ces bagues est de 16 cm et leur largeur de 2,4 cm.

Les balais métalliques frottant sur ces bagues sont portés par un axe dont ils sont isolés et qui est maintenu par un support venu de fonte avec le chapeau de l'un des paliers.

Le poids de la partie mobile est de 130 kg.

Le courant inducteur par phase à vide est de 14 ampères pour une tension d'alimentation de 190 volts.

En charge, le courant inducteur atteint 41,27 ampères. La puissance apparente absorbée est alors de 13 600 watts et le facteur de puissance de 0,87.

Le rendement en charge normale est de 87 p. 100.

Le glissement de l'induit est de 3 p. 100 et la vitesse par suite de 970 tours.

TRANSFORMATEUR DE 20 KILOVOLTS-AMPÈRES DES ATELIERS D'OERLIKON

Les ateliers d'Oerlikon qui construisent des transformateurs à courants triphasés depuis 2 500 watts jusqu'à 440 kilowatts, avaient en service un certain nombre de leurs types courants. Nous décrirons celui de 20 kilovolts-ampères.

La tension primaire est de 2 200 volts aux bornes, soit 1270 volts par phase les enroulements primaires étant groupés en étoile. Le débit par phase est de 5,25 ampères.

La tension secondaire est de 110 volts avec montage en étoile et le débit par phase de 105 ampères. La fréquence des courants est de 50 périodes par seconde.

Le transformateur est du type à noyau; il se compose de 3 colonnes verticales formées chacune de plusieurs paquets de tôles de diverses largeur et épaisseur, de façon à utiliser le mieux possible la section circulaire des bobines.

Les 3 colonnes sont réunies en haut et en bas par deux noyaux horizontaux reposant sur des nervures dans deux caisses en fonte dont l'une forme le socle de l'appareil et l'autre le couvercle.

Ces deux caisses sont réunies par 4 boulons de serrage.

Le section utile des noyaux verticaux est de 105 cm^2.

L'enroulement primaire est disposé à l'intérieur du secondaire, il comporte par phase 5 bobines en fil de 3 mm de diamètre.

Chaque bobine comprend 200 spires et les 5 bobines sont montées en série.

Le poids de cuivre utilisé sur l'enroulement primaire est de 90 kg.

L'enroulement secondaire comprend une seule bobine par phase; cette bobine est constituée par 2 fils de 9,5 mm de diamètre enroulés en parallèle; le nombre de spires est de 50.

Le poids du cuivre dans l'enroulement secondaire est de 130 kg.

L'appareil est complètement entouré par une tôle perforée qui protège les enroulements contre les chocs extérieurs.

DYNAMO A COURANT CONTINU DE 55 KILOWATTS DES ATELIERS D'OERLIKON

Comme type normal de dynamo à courant continu des ateliers d'Oerlikon, nous décrirons celui de 55 kilowatts.

La tension aux bornes est de 125 volts et le débit de 440 ampères; la vitesse angulaire est de 600 tours par minute et le nombre de pôles inducteurs de 4.



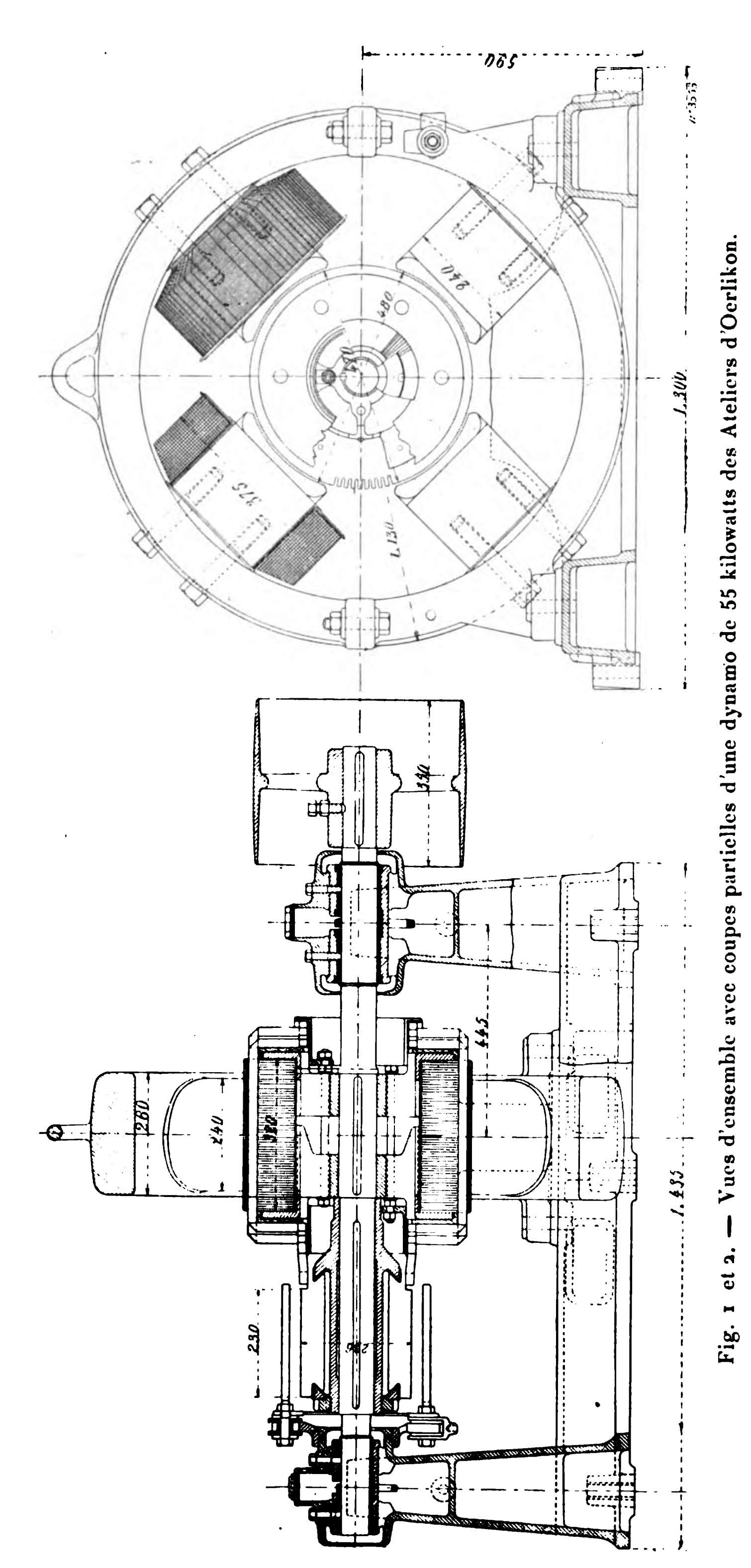


Fig. 1 et 2. — Vues d'ensemble avec coupes partielles d'une dynamo de 55 kilowatts des Ateliers d'Oerlikon.

Cette dynamo est représentée sur les figures 1 et 2 qui sont des vues d'ensemble avec coupes partielles de cette machine.

Inducteurs. — La carcasse inductrice est constituée par une couronne en acier coulé, en deux parties, dont l'une, la partie inférieure, porte les pattes par lesquelles l'inducteur est fixé sur le bâti ; ce dernier est venu de fonte avec les deux paliers à bague.

Le diamètre extérieur de la carcasse inductrice est de 113 cm et sa longueur de 26 cm. Le diamètre intérieur est de 94 cm.

Les noyaux polaires, également en acier, sont à section circulaire et portent des épanouissements polaires de forme rectangulaire venus de fonte avec eux. Les noyaux reposent sur des parties planes dressées de la carcasse et sont fixés chacun par deux vis.

La hauteur des noyaux proprement dits est de 19 cm et leur diamètre de 24 cm. Les épanouissements polaires ont une longueur parallèle à l'axe de 32 cm et un arc de 25,5 cm le long de l'entrefer.

Le diamètre d'alésage des inducteurs est de 48 cm et l'entrefer de 5 mm.

Le circuit inducteur est en dérivation et comporte 4 bobines enroulées sur des carcasses en tôle. Chacune des bobines comprend 1500 spires de fil de 2,9 mm de diamètre.

Les 4 bobines sont en série et la résistance du circuit inducteur est de 16,4 ohms à froid.

Le poids de cuivre utilisé sur l'inducteur est de 350 kg.

Induit. — L'induit est serré entre deux supports en bronze clavetés sur l'arbre ; le serrage s'obtient à l'aide de boulons qui maintiennent en même temps des cylindres en bronze destinés à supporter les dévelop-

pantes et les gouttières réunissant les extrémités des développantes. L'entraînement du noyau induit en une seule partie se fait à l'aide de clavettes logées dans les bras du support.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 47 cm et son diamètre intérieur de 26 cm, la hauteur radiale des tôles est par suite de 10,5 cm. La largeur des tôles induites est de 32 cm.

L'induit porte 116 rainures de 22 mm de hauteur et 6 mm de largeur. Dans chacune d'elles sont logées deux barres de 18 mm de largeur et 1,8 mm d'épaisseur, repliées à angle droit à leurs deux extrémités et courbées de façon à ce que celles-ci constituent des développantes de cercle.

Les extrémités des développantes sont soudées dans des gouttières en cuivre isolées entre elles et du support, et serrées par un anneau en fer.

Les 232 conducteurs constituent un enroulement en tambour multipolaire série-parallèle avec 4 circuits en parallèle; ils forment 116 sections aboutissant au 116 lames du collecteur.

Le collecteur est monté sur un manchon claveté sur l'arbre. Les lames isolées au mica sont serrées par un écrou vissé sur le manchon. Le diamètre du collecteur est de 23,6 cm et sa largeur utile de 23 cm.

Les axes des porte-balais sont supportés par un balancier monté sur un anneau venu de fonte avec le palier et déplaçable à la main à l'aide d'une poignée à vis.

Il y a 4 lignes de balais comprenant chacune 10 balais en charbon.

La résistance de l'induit entre balais est de 0,0077 ohm, et le poids du cuivre de l'enroulement est 70 kg.

Résultats d'essais. — L'intensité du courant d'excitation pour obtenir la tension normale à vide à la vitesse de 600 tours est de 3,6 ampères.

En charge, le courant d'excitation atteint 4,7 ampères et correspond à une tension à vide de 145 volts; la chute de tension est donc de 20 volts, soit 16 p. 100.

J. Reyval.

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

EXPÉRIENCES DE MARCONI ENTRE ANTIBES ET LA CORSE

Bien que la télégraphie sans fil par ondes hertziennes ait donné lieu, principalement sous l'impulsion de la Wireless Telegraph Marconi's Company, à diverses applications pratiques, des essais se poursuivent toujoursen divers pays dans le double but d'augmenter la portée des ondes et d'obtenir une syntonisation des appareils de transmission et de réception.

Parmi ces essais nous avons déjà signalé ceux du professeur Slaby [1], à Berlin, qui est parvenu à recevoir avec une seule antenne réceptrice des messages envoyés simultanément par deux postes transmetteurs produisant des ondes de longueurs différentes.

Il nous faudrait encore parler des divers essais effectués en Angleterre par Marconi qui est parvenu à transmettre à une distance de 300 km (entre l'île de Wight et la pointe Lizard), de ceux exécutés en Belgique par Guarini Foresio et le lieutenant , enfin des essais qu'effectuent quotidiennement les officiers de nos escadres de la Méditerranée et

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXVI, p. 307, 23 février 1901.

de l'Océan et tout particulièrement des expériences méthodiques et raisonnées qu'exécute à Brest le lieutenant de vaisseau Tissot. Nous comptons y revenir ; pour l'instant nous nous bornerons à donner quelques renseignements sur les essais exécutés entre les côtes de Provence et la Corse par la Marconi's International Marine Communication Company, essais commencés en avril dernier après autorisation du gouvernement français et qui se poursuivent encore au moment où nous écrivons ces lignes.

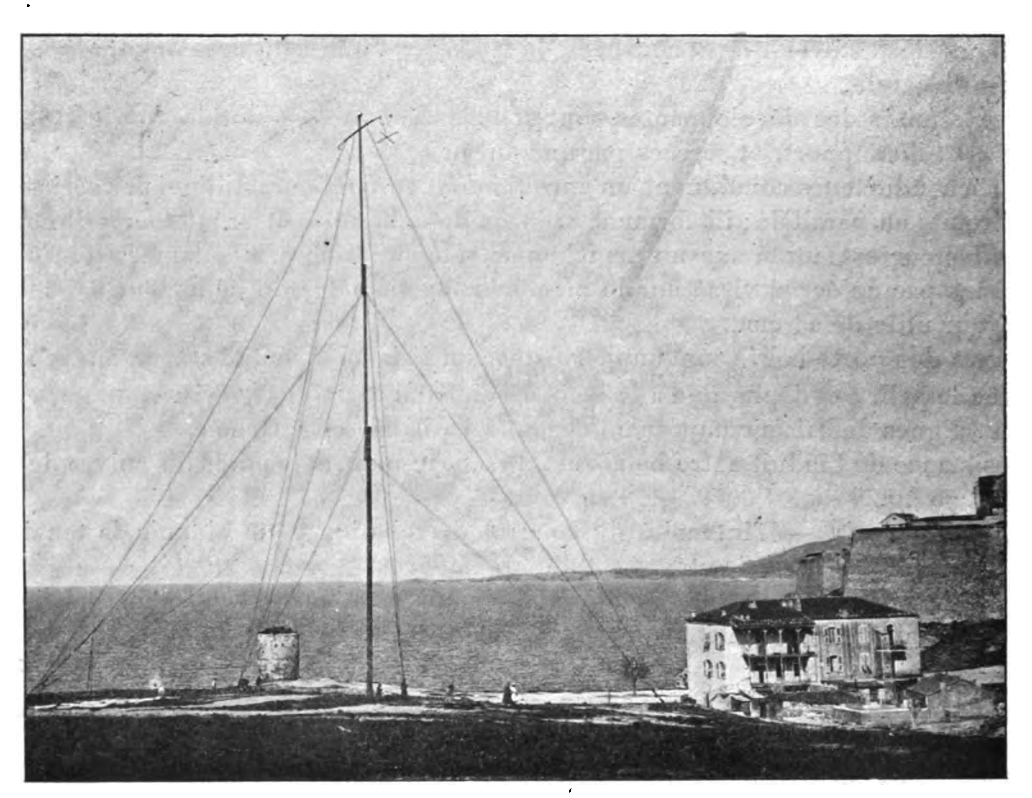


Fig. 1. — Station de Calvi.

Appareils employés. — L'une des stations est installée à Calvi, en Corse, l'autre à Biot, près d'Antibes, point d'atterrissage du câble sous-marin reliant la Corse à la France. La figure 1 représente le mât d'antenne et le bâtiment de la station de Calvi ; la figure 2 donne la vue du poste récepteur récepteur de Biot (sur la gauche de cette figure se trouve reproduite la photographie de M. Marconi).

Les deux stations sont distantes d'environ 175 km ; elles sont toutes deux à peu près au niveau de la mer et à moins de 200 m du rivage.

Les appareils de transmission et de réception sont disposés suivant les indications d'un brevet récent de la Wireless Telegraph Company (brevet anglais, n°   , déposé le   , accordé le   ; brevet américain, n°   ; brevet français n° 305 060 du 3 novembre 1900. Les figures 3 et 4 représentent respectivement pour le transmetteur et le récepteur ces divers appareils et leurs connexions.

L'examen de la figure 3 montre deux particularités nouvelles. D'une part la bobine d'induction unique toujours employée jusqu'ici est remplacée par deux bobines B_1 et B_2 dont les enroulements primaires sont disposés en série, tandis que les enroulements secondaires sont reliés en parallèle. Chacune de ces bobines peut donner des étincelles de 25 cm ; elles

sont connectées aux bornes d'un oscillateur dont les boules sont écartées de 6 mm au plus. D'autre part, on remarque que l'antenne n'est plus directement connectée à l'une des bornes de cet oscillateur : elle aboutit à un transformateur S dont le primaire est parcouru par la décharge oscillante du condensateur C ; ce condensateur est formé par 13 bouteilles de Leyde d'un volume d'environ 1 litre montées en surface ; le transformateur est constitué par un cadre de bois, de forme carrée, de 75 cm de côté, complètement plongé dans l'huile et

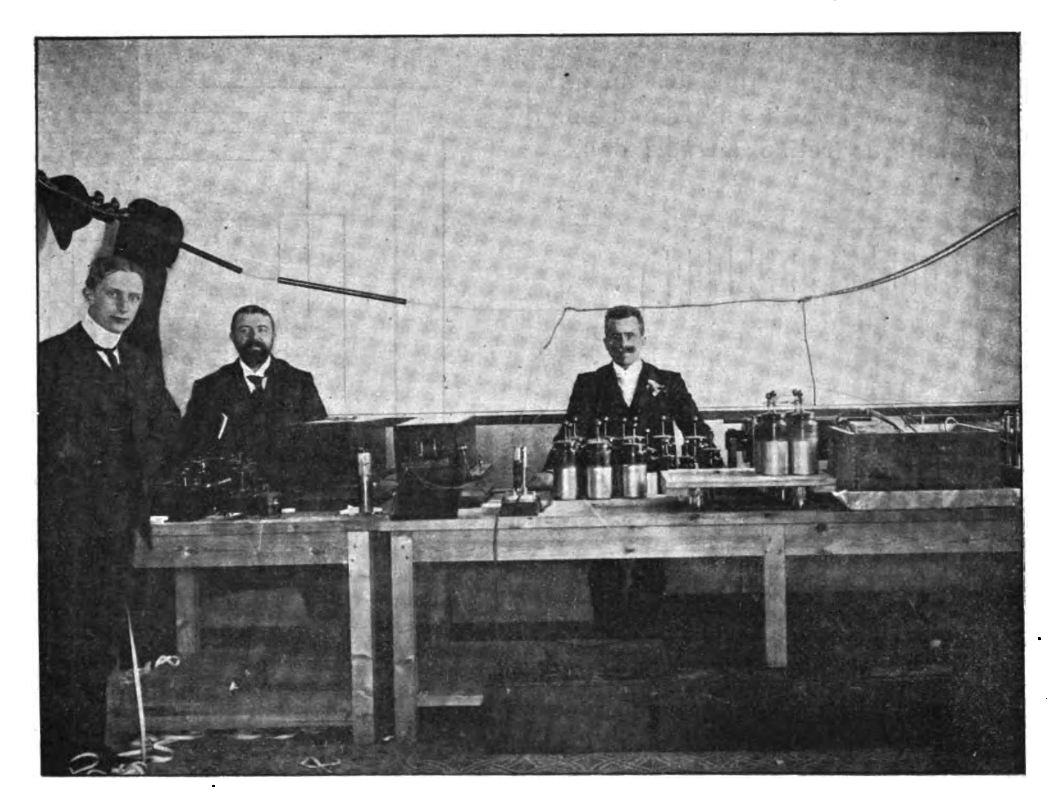


Fig. 2. — Poste récepteur de Biot.

sur lequel est enroulé un seul tour du fil du circuit primaire et une quinzaine de tours du fil constituant le circuit secondaire.

La figure 4 nous montre, à la partie inférieure, le fameux « jigger », déjà employé en 1899 dans les essais entre Wimereux et Douvres (1) mais dont la construction était alors tenue secrète. On voit qu'il se compose d'un transformateur à enroulement primaire unique e et à deux enroulements secondaires e_1 et e_2. L'enroulement primaire est formé d'un fil de 0,2 mm de diamètre et de 2,10 m de long enroulé sur un cylindre isolant ; il est relié d'une part à l'antenne, de l'autre à la terre. Chaque enroulement secondaire est formé d'une bobine de fil de 0,1 mm de diamètre et de 21 m de longueur ; les deux bobines sont symétriquement placées par rapport au milieu de la bobine primaire ; une des extrémités de chacune est reliée au cohéreur c, l'autre à un circuit comprenant une pile p d'un seul élément, deux bobines de réactance f_1, un condensateur K et un relais polarisé R shunté par un condensateur K_1 et une résistance de 1 000 ohms ; le condensateur K empêche le

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 507, 31 mars 1900, et particulièrement la figure de la page 513 représentant le montage du poste récepteur.



passage du courant de la pile dans le relais tant que le cohéreur est résistant; les bobines de réactance s'opposent au passage des courants de haute fréquence induits dans les bobines e_1, e_2 par les oscillations traversant le primaire e.

Les autres appareils du poste récepteur ne diffèrent pas de ceux employés antérieurement. Le cohéreur est toujours le tube à vide avec électrodes taillées en biseau et poudre métallique formée de 94 p. 100 d'argent et 6 p. 100 de nickel (¹). Toutes les parties de circuit entre lesquelles peuvent se produire des étincelles sont shuntées par des résistances appropriées. L'ensemble des appareils, sauf le Morse M, est enfermé dans une boîte métallique reliée au sol; deux condensateurs K_2 et K_3 empêchent la mise en court-circuit de la pile P, de huit éléments, qui actionne le Morse et le frappeur du cohéreur.

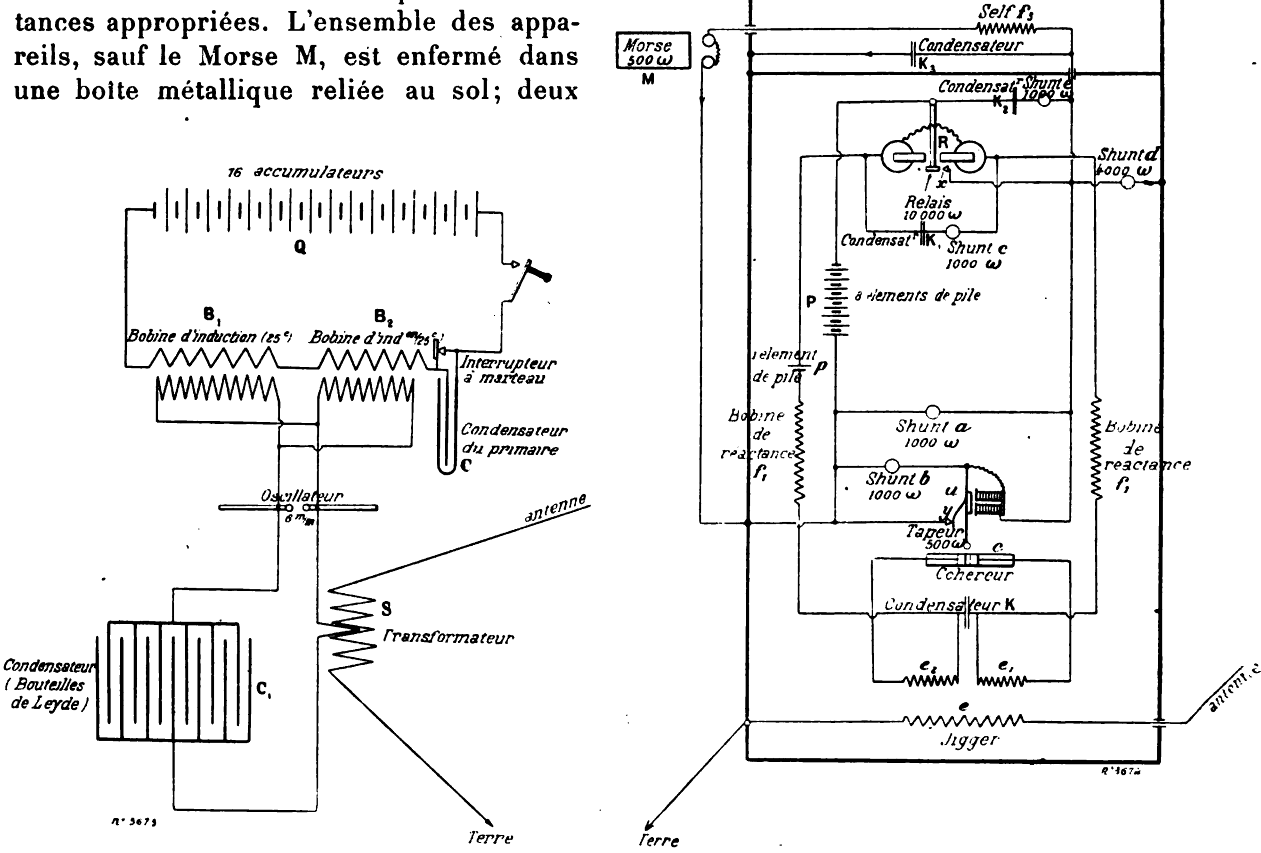


Fig. 3. — Poste transmetteur.

Fig. 4. — Poste récepteur.

A chacun des postes l'antenne a une hauteur de 52 m au-dessus du sol. Elle est constituée par quatre câbles réunis en quantité et disposés suivant les arêtes d'un prisme à base carrée de 1,5 m de côté environ (²).

Les prises de terre sont formées par des plaques de zinc d'une surface de 20 à 30 m² enterrées horizontalement à 0,50 m de profondeur.

Résultats des essais. — De l'avis de diverses personnes qui ont assisté aux essais et qui

(¹) Voir la description, t. XXII, p. 510, 31 mars 1900.
(²) Dans quelques essais tout récents, M. Marconi s'est servi d'antennes terminées par des cylindres de zinc de 1,50 m de diamètre; la hauteur des antennes pouvait être alors considérablement réduite pour une même portée des ondes.



ont bien voulu nous communiquer leur impression, les résultats obtenus sont tout à fait remarquables. Les messages échangées entre les deux stations ont toujours, malgré la distance considérable qui séparait celles-ci, été correctement enregistrés; les points et les traits de l'alphabet Morse étaient bien formés et bien séparés; la vitesse de transmission maximum a été de 10 à 12 mots par minute, la vitesse ordinaire de 6 à 8 mots.

La grande distance franchie et la netteté sont attribuées à la syntonie réalisée entre le transmetteur et le récepteur. Cette syntonie est obtenue empiriquement, M. Marconi essayant successivement un grand nombre de jiggers dont les enroulements primaires et secondaires ont des longueurs et des montages différents (1).

Toutefois cette syntonie ne paraît que très grossièrement réalisée. Souvent on enregistrait des télégrammes émis par des navires de guerre de différentes nationalités passant au large à des distances inconnues mais généralement supérieures à 30 km. Inversement, à des distances d'environ 30 km, un récepteur quelconque était capable d'enregistrer les signaux émis par l'antenne transmettrice.

D'autre part des essais faits pour envoyer par la même antenne des ondes de périodes différentes et recevoir ces ondes par une antenne reliée à deux appareils récepteurs réglés pour que l'un d'eux soit influencé par une série d'ondes sans l'être par l'autre, n'ont pas donné des résultats très satisfaisants. Toutefois un récepteur accordé pour des ondes de 300 m (?) n'était pas influencé par des ondes de 150 m (?) et réciproquement.

Un autre point mis en évidence par ces essais est la difficulté de mettre les appareils de réception à l'abri d'influences secondaires provenant sans nul doute de décharges atmosphériques : aux heures chaudes de la journée on enregistrait des ondes parasites qui atteignaient parfois une intensité telle qu'elles empêchaient complètement les communications. Pour cette raison, il semble qu'il soit peu avantageux d'employer des cohéreurs d'une trop grande sensibilité, puisque les cohéreurs utilisés par M. Marconi, d'une sensibilité médiocre, accusent ces ondes parasites.

Un dernier point qu'il convient de faire ressortir est la fréquence relativement faible des ondes qu'utilisent M. Marconi. D'après les chiffres indiqués pour les longueurs d'ondes (150 et 300 m), la fréquence de ces ondes est en effet une centaine de fois moins grande que celles des ondes employées par Hertz et plusieurs milliers de fois inférieures à celles des ondes hertziennes que l'on sait produire aujourd'hui. Comme l'amortissement des oscillations hertziennes croît rapidement avec la fréquence, il est permis de se demander si cette fréquence relativement basse ne constitue pas, en donnant un amortissement moins rapide, un des éléments du succès de M. Marconi dans ses transmissions à grande distance.

En résumé, on peut conclure de ces essais que, malgré les perfectionnements qu'ils ont mis en évidence, divers inconvénients de la télégraphie sans fils subsistent encore : insécurité des communications qui peuvent être troublées par des ondes d'origine atmosphériques ou émises par d'autres appareils; nécessité d'établir des antennes de grande hauteur;

(1) La seule règle à laquelle on s'astreint, d'après les dires de M. Marconi, est que le secondaire doit avoir une longueur égale à la hauteur des antennes, c'est-à-dire au quart de la longueur d'onde lorsque la hauteur d'antenne est convenablement choisie d'après la période des oscillations.

La longueur de $21 \times 2 = 42$ m que nous avons indiquée ci-dessus comme étant celle des deux bobines du secondaire, ne concorde pas cependant très exactement avec cette règle, puisque la hauteur des antennes était de 52 m. Aussi croyons-nous devoir faire observer que ces deux nombres (42 m et 52 m) nous ont été communiqués par deux personnes et se rapportent peut-être à des expériences différentes; en tout cas, ils sont du même ordre de grandeur.



difficulté sinon presque impossibilité d'obtenir entre le transmetteur et le récepteur une syntonie permettant le secret relatif des transmissions (1).

J. Blondin.

TRACTION ÉLECTRIQUE DES TRAMWAYS

SYSTÈME BARBILLION ET GRIFFISCH PAR DISTRIBUTEUR AUTOMOBILE A ÉCHAPPEMENT

Dans ce système de traction électrique, les inventeurs se sont efforcés de concilier les avantages du système de traction par caniveau et ceux des systèmes à contact superficiel ; il convenait pour cela, d'une part, de chercher à réduire les frais d'installation considérables du premier tout en conservant ses qualités essentielles, et, d'autre part, d'augmenter la sécurité offerte par les seconds en restreignant, dans la limite du possible, le rôle des électro-aimants dans le mécanisme de la commutation.

MM. Barbillion et Griffisch ont adopté le principe des distributeurs de courant actionnés par un moteur électrique spécial que traverse tout ou partie du courant principal. Ce moteur distributeur circule dans une canalisation souterraine absolument fermée, avec une vitesse toujours sensiblement supérieure à celle que peut prendre la voiture. Il est arrêté dans son mouvement par une série de tocs-butoirs dont chacun correspond respectivement à un plot disposé sur la voie. Il est ensuite laissé libre de reprendre sa marche quand la voiture de tramway, ayant rejoint le distributeur, a provoqué le dégagement du toc.

Le fonctionnement de ce nouveau système est donc absolument analogue à celui d'une roue d'échappement en horlogerie dont le pendule serait à vitesse variable. Il a pour effet de régler la vitesse moyenne du distributeur d'après celle de la voiture.

I. Schéma de la distribution. — En se reportant à la figure 1, on voit que le système distributeur comporte essentiellement une partie mobile et une partie fixe.

La partie mobile comprend un chariot B, B^1, B^2, roulant sur deux rails, l'un continu a relié aux câbles de l'usine fournissant le courant électrique, l'autre sectionné b, b^1, b^2. Le chariot B porte un moteur spécial M à deux enroulements distincts permettant la marche du distributeur, et par conséquent celle de la voiture, dans les deux sens. Chacun des enroulements est relié, d'une part à un galet g roulant sur les rails continus a, et de l'autre à un ensemble F constitué par deux barres flexibles F^1 et F^2 isolées à leur point de jonction. Les enroulements du moteur sont réunis respectivement par les barres F^1 et F^2 aux chariots extrêmes B^1 et B^2 qui, par les galets g^1, g^2, sont en relation avec les sections de rail b, b^1, b^2...

Le contact peut donc être établi du rail a aux sections b, b, b... par le moteur M du chariot suivant deux chemins, soit par la barre F^2 et le chariot B^2, ou par les mêmes organes placés symétriquement F^1 et B^1.

La partie fixe se compose du rail a relié aux câbles de distribution, des sections de rails b, b^1, b^2, reliés directement à une série de plots P^1, P^2, P^3... disposés suivant l'axe des voies et de la canalisation tubulaire qui supporte ces deux chemins de roulement, et enfin des mécanismes d'échappement ou tocs-butoirs.

En général à chaque section b correspond un mécanisme d'échappement.

Ce mécanisme d'échappement ou toc-butoir consiste en un électro-aimant E à noyau mobile,

(1) A ce propos signalons une information lue récemment dans un journal anglais et d'après laquelle une société serait en voie de formation pour l'exploitation du système syntone Lodge-Muirhead que nous avons décrit il y a près de trois ans (*L'Ecl. Élect.*, t. XVIII, p. 81, 21 janvier 1899).



lequel est pourvu d'une fourchette R qui maintient mécaniquement à l'arrêt le distributeur. Au moment de l'arrêt du distributeur, un contact est établi entre le rail *a* et le plot correspondant par ce distributeur même et l'enroulement de l'électro-aimant E. Si à ce moment une barre frotteuse portée par la voiture vient fermer par un intermédiaire quelconque le courant sur les rails de la voie reliés au pôle négatif de l'usine, le noyau de l'électro-aimant est soulevé et le distributeur reprend sa course.

Afin d'assurer le soulèvement permanent du toc pendant le départ du chariot, l'électro-aimant est relié d'une part au plot P, de l'autre à des contacts ou lamelles LL qui viennent en prise sur des contacts permanents KK portés par le chariot distributeur et reliés directement au galet *g*. On a donc un courant qui se ferme par la barre frotteuse de la voiture.

Quant au contact R, il a simplement pour effet, quand le chariot distributeur arrive à un toc, d'abord d'exercer un freinage par friction mécanique sur la barre F, puis, comme il sera indiqué plus loin, de fermer le circuit du moteur pour la marche avant, qui travaillait seul, sur l'enroulement du moteur pour la marche arrière fonctionnant comme résistance et par suite de faire frein électrique.

La voiture porte trois barres frotteuses de contacts, deux extrêmes, U^1 et U^2, dont les longueurs respectives sont supérieures à la distance qui sépare deux plots consécutifs, et une barre médiane U, dite de déclanchement, de dimensions restreintes.

Le courant provenant du galet *g* et actionnant le moteur M du chariot distributeur B, se ferme donc toujours par les galets g^1 du charriot d'arrière B^1, le plot P^1 la barre U^1 et les circuits des moteurs de la voiture.

En marche normale la barre U^2 de la voiture est toujours soulevée et la barre U^1 en contact avec les plots.

Au moment où la région centrale de la barre F vient en contact avec la fourchette d'un toc R, celui des deux circuits du moteur, c'est-à-dire le circuit arrière qui travaillait, est fermé sur le deuxième circuit jusqu'alors inactif. Il en résulte un freinage énergique et un arrêt complet du moteur jusqu'au moment où la barre de déclenchement U vient frotter sur le plot. A ce moment le chariot se remet en mouvement sous l'influence du courant qui actionne l'enroulement du moteur correspondant au sens de la marche [1].

Fig. 1. — Schéma de la distribution du système de traction Barbillion et Griffisch.

[1] On a supposé que la voiture comportait trois barres dont les deux extrêmes U^1, U^2, dites de marche avant et de marche arrière et une barre médiane U dite de déclenchement. Le fonctionnement du système peut de même être réalisé seulement avec une longue barre de marche médiane et deux barres extrêmes de déclenchement, l'une placée à l'avant et l'autre à l'arrière de la voiture. De même encore avec deux longues barres de marche, le circuit de déclen-

II. Description des diverses parties du système. — Voyons maintenant comment sont réalisées ces diverses conditions.

La figure 2 est une coupe longitudinale d'une voie de tramways sur chaussée montrant l'appli-

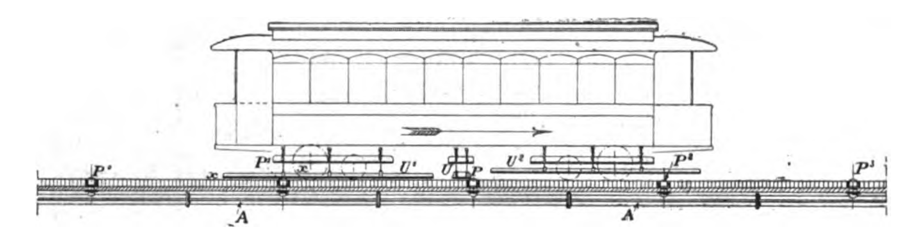


Fig. 2. — Coupe longitudinale d'une voie de tramway, système Barbillion et Griffisch.

cation du système au cas où la canalisation souterraine est établie entre les rails, c'est-à-dire sous le passage de la voiture.

La figure 3 indique une coupe transversale correspondante où le câble d'alimentation est placé dans l'entrevoie.

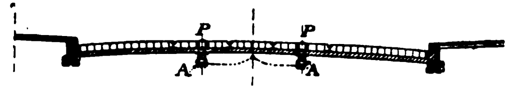


Fig. 3. — Coupe transversale.

La figure 4 donne en plan la position du tube et des plots dans le cas d'un changement de voie et indique que l'aiguillage du chariot distributeur dans le tube peut se faire au moyen des organes de manœuvres de l'aiguillage ordinaire.

Les figures 5, 6 et 7 tracées à une plus grande échelle, représentent respectivement l'élévation

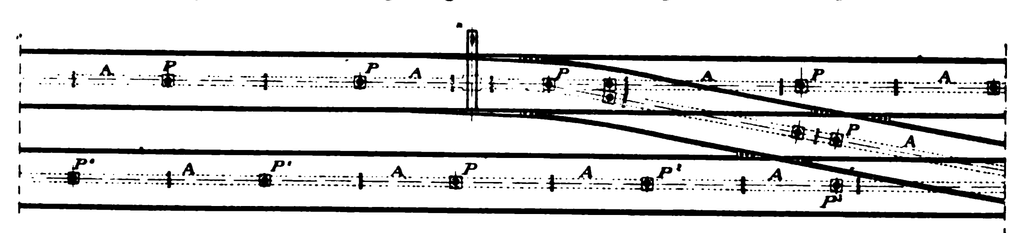


Fig. 4. — Aiguillage.

sectionnée et les coupes horizontale et transversale du dispositif dont l'ensemble est donné par les figures, 2 et 3.

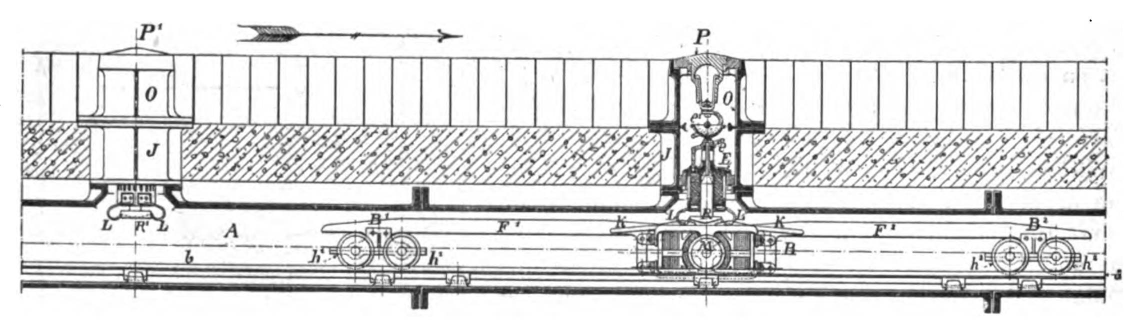


Fig. 5. — Coupe longitudinale.

Les figures 8, 9 et 10 montrent un autre dispositif avec distributeur placé sous le trottoir;

---

chement pouvant se fermer sur l'une ou l'autre des barres avant ou arrière. Ces deux dernières dispositions n'apportent du reste aucune modification au système.

dans ce cas, un seul tube peut contenir les distributeurs de la voie montante et de la voie descendante; de plus, le conducteur d'alimentation peut être également logé dans ce tube, et même constitué par une simple barre nue de fer ou d'autre métal, de section appropriée et portée sur des isolateurs en porcelaine (¹).

1° *Canalisation souterraine.* — La canalisation souterraine A placée soit dans l'axe même

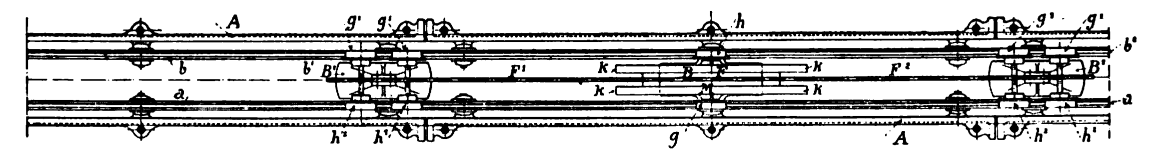


Fig. 6. — Coupe horizontale.

de la voie ferrée (fig. 2, 3, 4, 5, 6 et 7), soit sous trottoir (fig. 8, 9 et 10), est constituée par des tuyaux de dimensions variables, suivant les cas, placés bout à bout et assemblés entre eux pour constituer un ensemble solide et en même temps d'un démontage facile.

Ces tuyaux peuvent contenir un, deux ou plusieurs chemins de roulement, permettant à des distributeurs indépendants, sans se gêner mutuellement, de se mouvoir dans un sens ou dans l'autre, en suivant les mouvements des voitures. Cette disposition est essentiellement indiquée en figure 9 où l'on voit un chemin de roulement Y se rapportant à la voie montante, et un autre Z pour la voie descendante.

Chaque section correspond en général à un plot qui se trouve relié, le plus souvent, au milieu de cette section.

Les sections du rail *b* peuvent être séparées les unes des autres par un intervalle de quelques millimètres, ou bien assemblées entre elles au moyen de boulons avec intercalation de matière isolante.

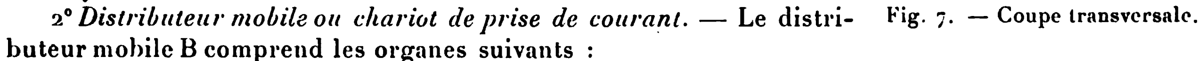


Fig. 7. — Coupe transversale.

2° *Distributeur mobile ou chariot de prise de courant.* — Le distributeur mobile B comprend les organes suivants :

a) Un moteur dynamo-série M dont l'arbre d'induit est pourvu à chaque bout d'un galet. De ces deux galets, celui *h* (fig. 6), portant sur le rail sectionné est seul isolé par rapport à la dynamo ; tandis que le second galet *g* est en relation électrique avec le pôle positif de ce moteur.

Cette dynamo M comporte, soit un enroulement induit unique avec un seul collecteur, mais

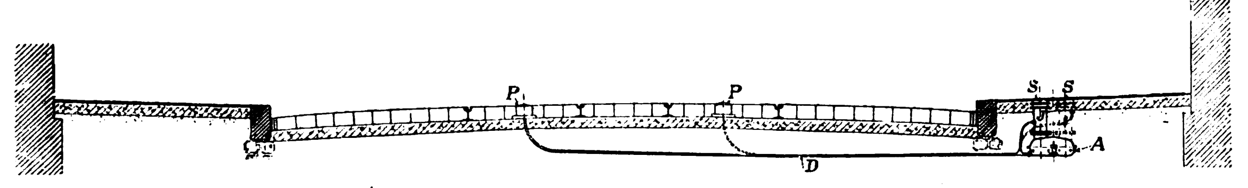


Fig. 8. — Coupe d'ensemble d'une voie avec distribution sous trottoir.

deux enroulements inducteurs en série sur l'induit, et dont le pôle positif commun, se confond avec le pôle négatif de l'induit de la dynamo, soit un enroulement inducteur unique, mais un double enroulement induit composé de deux parties bobinées en sens contraires, et aboutissant respectivement à un collecteur spécial. Dans ce dernier cas, le pôle positif de l'inducteur unique est relié au galet *g*. On pourrait évidemment adopter dans le même ordre d'idées toute machine magnéto-électrique ou autres dont les enroulements seraient effectués de manière convenable. On voit d'après le schéma de la figure 1 qu'en général le moteur ne fonctionnera que sous l'action de

(¹) Dans toutes les figures, les mêmes lettres désignent les mêmes organes.

l'un de ces deux circuits, qui est parcouru par un courant fermé. Dans le cas où chacun de ces circuits serait parcouru par un courant fermé de même intensité, le moteur serait réduit à l'immobilité.

La dynamo M porte sur sa carcasse, à la partie supérieure, quatre saillies KK, ou surfaces de contact planes, isolées de la masse de la dynamo, mais reliées au galet *g*.

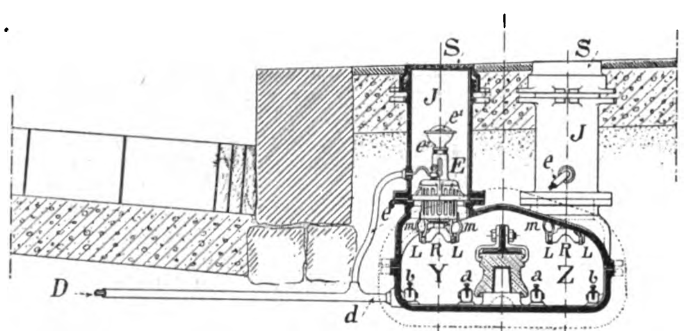


Fig. 9. — Coupe d'un distributeur sous trottoir.

Ces saillies sont destinées à assurer le contact avec les frotteurs LL portés par la boîte E de l'électro-aimant et de permettre ainsi, par la mise en jeu de l'électro-aimant, le soulèvement du toc R et le nouveau départ du chariot B.

b) Une barre flexible F^1 et une barre flexible F^2 qui sont fixées respectivement à la portion avant et à la portion arrière de la culasse de la dynamo M. Elles sont reliées aux sorties du courant dans la dynamo, c'est-à-dire au pôle négatif du demi moteur avant ou du demi moteur arrière.

c) Deux chariots B^1 et B^2 fixés aux barres flexibles F^1 et F^2. Les galets h^1 et h^2 de ces chariots portant sur le rail continu *a* sont isolés par rapport à la masse; tandis que les galets g^1, g^2, portent sur le rail sectionné et sont en liaison électrique avec les barres F^1 et F^2 correspondantes.

Le passage du courant est donc assuré par l'un ou l'autre des chemins réunissant le rail continu au rail sectionné, c'est-à-dire au plot, par l'intermédiaire de la dynamo M de l'une des barres F^1 ou F^2 et de l'un des chariots B^1 ou B^2.

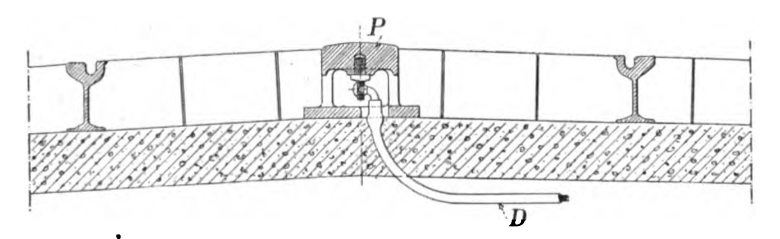


Fig. 10. — Coupe d'une voie avec distributeur sous trottoir.

3° *Contacts superficiels ou plots.* — Dans le cas où la canalisation A est disposée dans l'axe des voies, le plot est installé à la partie supérieure d'une boîte métallique O qui est isolée de la boîte J, celle-ci contenant le toc butoir R (fig. 5, 6 et 7). La boîte supérieure O est en relation électrique d'une part avec le plot P et le fil *e* de l'électro-aimant, et d'autre part avec le fil *d* de jonction au plot des sections du rail *b* (fig. 7 et 12). Dans le cas où cette canalisation A se trouve sous trottoir (fig. 9 et 10), un fil de dérivation D, de dimensions convenables, relie chaque plot P d'une part à la section *b* correspondante, d'autre part à l'enroulement de l'électro-aimant E.

4° *Mécanisme régulateur d'échappement du distributeur.* — *Toc butoir.* — Comme on peut le voir par les connexions électriques du schéma (fig. 1), le courant qui parcourt le moteur du chariot, que nous supposerons à induit unique et à double inducteur, pour fixer les idées, se ferme par les galets d'arrière g^1. Le moteur est calculé de telle sorte que sous l'action de ce courant, il puisse acquérir une vitesse moyenne supérieure à celle de la voiture de tramway.

Le toc butoir comporte essentiellement un électroaimant fixe E, dont les enroulements sont parcourus par le courant capté sur les saillies KK du moteur M. Ce courant est transmis au plot. La prise de courant s'effectue sur les saillies polaires au moyen de lamelles LL offrant deux contacts et montées sur l'électro-aimant fixe E. Si l'on voulait faire la prise de courant au moyen de la fourchette du butoir R placée à la partie inférieure du noyau de l'électro-aimant E, cette four-



chette devrait présenter des ressorts latéraux très élastiques *m m* (fig. 9) qui, dans le déplacement du noyau, assureraient le contact avec les enroulements de E d'une part, et les surfaces latérales ou supérieures des saillies KK de la dynamo d'autre part (voir fig. 5). Les saillies KK elles-mêmes pourraient porter des lames flexibles destinées à rattraper l'usure et en même temps empêcher le circuit de se rompre dans le cas où la fourchette R serait soulevée d'une façon excessive par le passage du courant.

Les barres flexibles F^1 F^2, de même la partie médiane F, présentent des gorges destinées,

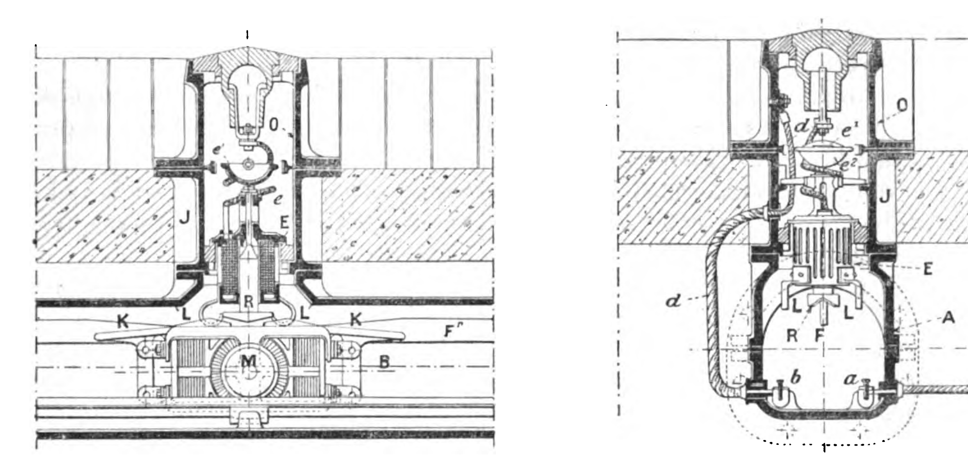


Fig. 11 et 12. — Coupes longitudinale et transversale d'un plot.

au moment où le distributeur B vient en prise avec le fond de la fourchette R, à régulariser le mouvement du chariot et à l'empêcher de s'échapper.

Dès que la liaison est établie entre les saillies KK... de la dynamo, l'électro-aimant E et le plot P, le frottement de la barre de déclenchement supportée par la voiture aura pour effet, en établissant un courant fermé par les rails, de faire soulever le toc butoir R et de laisser échapper le distributeur jusqu'au toc suivant.

Pour visiter le toc butoir, après avoir déboulonné le plot P, on enlève le bouchon supérieur S (fig. 9). Il suffit alors de sortir, au moyen de la poignée e^1, l'ensemble constitué par l'électro-aimant E, la fourchette R et les connexions.

La poignée e^1 est montée sur une concavité e^2 qui sert en même temps à contenir de la grenaille en quantité convenable, pour régler par une charge suffisante le jeu du noyau de l'électro-aimant.

Nous avons vu dans la description électrique du système que lorsque l'équipage vient au voisinage d'un toc, la fourchette R ferme le deuxième circuit du moteur, jusqu'alors ouvert, sur le premier circuit. Il en résulte un freinage électrique énergique, et l'atténuation, dans des proportions considérables, du choc sur le toc butoir en prise. D'autre part, le choc très atténué du distributeur sur le toc butoir en prise servira néanmoins à vaincre l'inertie de l'électro-aimant dont le noyau sera ainsi invité à remonter au moment où le courant circulera dans l'électro-aimant.

III. Fonctionnement du système. — 1° *Marche à pleine vitesse.* — Plaçons-nous dans le cas où la voiture porte trois barres frotteuses. En marche normale, la voiture portera relevée la barre U^2 située à son avant et baissée celle d'arrière U^1. La barre de déclenchement U est supposée en contact permanent (fig. 2).

Le distributeur de courant B étant actuellement en P, et la voiture étant en mouvement, la barre de déclenchement U atteint le plot P et le chariot reprend sa marche suivi par la voiture.

A ce moment, le moteur M du distributeur B est alimenté par les galets *g*, le circuit étant fermé

par le galet g^1 du chariot d'arrière B^1 ; quant à la barre de marche avant U^1 (c'est-à-dire la barre d'arrière baissée) elle recueille le courant principal sur le plot P^1, puis sur le plot P et l'envoie aux moteurs de la voiture. Les galets g^1 sont toujours en contact, soit avec une, soit avec deux sections et par conséquent, soit avec un, soit avec deux plots consécutifs P^1 P par exemple. La voiture est donc toujours alimentée.

D'autre part, quand la voiture marche à pleine vitesse, celle avec laquelle se déplace le chariot est, quoique plus grande, assez peu différente de celle de la voiture. Il en résulte qu'au moment où la barre de déclenchement arrive sur un plot P, le distributeur reprend aussitôt sa marche.

Par exemple quand les galets g^2 du chariot B^2 de tête ont atteint la section b^2 de P^2, l'avant de la voiture est déjà venu recouvrir ce plot P^2.

2° *Ralentissement et arrêt.* — Sous peine d'avoir une voiture de dimensions exagérées, ou d'abaisser la distance des plots à une valeur inférieure à celle habituellement adoptée en pratique, on a dû se mettre en garde contre l'éventualité suivante.

Supposons que la voiture se soit arrêtée de telle sorte que l'extrémité antérieure de la barre U n'ait dépassé que très légèrement le plot P. Nous aurons ainsi par l'arrière un courant qui actionnera le moteur M du chariot B. Celui-ci va alors occuper la position P^2.

Il en résulte que le plot P^3 situé à quelques mètres du tramway demeurerait chargé pendant l'arrêt. C'est là, au point de vue de la sécurité une condition impossible à admettre.

Dans le but d'éviter cet inconvénient, il suffit, quand la vitesse tombe au-dessous d'une certaine valeur, de laisser le déclenchement s'opérer au moyen de la barre centrale, mais d'entraver le mouvement du chariot de manière à ce qu'il ne puisse gagner, à l'arrêt, un plot qui ne soit pas couvert par la voiture. Pour cela il convient d'abaisser une portion seulement de la barre U^1.

La longueur de cette portion xx mise à fleur de terre est telle que cette barre n'entre en prise avec le plot P^1 par exemple, que lorsque la barre de déclenchement a quitté le plot P. Le moteur du chariot est ainsi sollicité dans une position convenable de sa course par deux courants de sens contraires, qui se ferment par l'un et par l'autre de ces deux circuits.

Au moment de l'arrêt, grâce à cette disposition, le chariot du distributeur est toujours situé vers le centre de la voiture.

Au moment du démarrage, il suffit de soulever la barre correspondant au sens de marche pour que le chariot du distributeur et par suite la voiture, par la manœuvre du régulateur ou contrôleur, se mette en mouvement.

3° *Marche avant.* — En effet, pour le démarrage *avant,* il suffit de soulever la portion xx de la barre U^1; le chariot distributeur arrêté par exemple entre P et P^2 se déplace jusqu'au toc butoir R^2 correspondant au plot P^2. Le mouvement continue ainsi d'une manière absolument analogue à celle que nous avons indiquée.

4° *Marche arrière.* — Il suffit de relever la barre U^2 pour réaliser le sens de la marche arrière [1].

---

(1) *Circuit de l'électro-aimant actionnant le toc-butoir.* Suivant le type de barres frotteuses adoptées pour la voiture les enroulements de l'électro-aimant peuvent être effectués suivant des modes différents. Dans le cas où l'on emploie le système de deux barres frotteuses avec barre de déclenchement centrale, l'électroaimant E peut être constitué par un enroulement à fil fin permettant de supporter une tension de 500 volts. Quand, au moment de l'arrêt ou du ralentissement, les barres U^1 et U^2 viennent à être abaissées simultanément, ce fait n'a aucune influence au point de vue du déclanchement de l'appareil. En effet l'électro-aimant est soumis à peine à une différence de potentie de quelques volts, celle qui subsiste entre le plot en contact avec une barre frotteuse et le rail continu a. On voit que cette tension est celle qui est établie aux bornes du moteur actionnant le chariot. Le distributeur ne peut donc être libéré que par le passage de la barre de déclenchement.

Dans le cas où le système frotteur comporte deux barres U^1 U^2 sans barre de déclenchement, l'électro-aimant est alors constitué par un enroulement à gros fil, parcouru par une portion du courant principal, et qui a pour effet de faire opérer le déclenchement du toc quand les barres U^1 ou U^2 viennent en contact avec le plot correspondant. Dans ce cas, pour le ralentissement et l'arrêt, il suffit encore d'abaisser une portion convenable de la barre normalement soulevée en cours de marche. On parvient ainsi à maintenir le chariot entre des positions extrêmes permettant de ne pas laisser en charge un plot qui ne soit pas couvert par la voiture.



IV. CONCLUSIONS. — En résumé, on voit que le système de distributeur automobile à échappement décrit ci-dessus, repose sur des principes absolument différents de ceux qui constituent les bases des systèmes à contact superficiel déjà connus. Il est caractérisé par plusieurs points très nets.

1° L'emploi, pour la distribution de l'énergie aux moteurs des voitures, d'une canalisation souterraine absolument fermée dans laquelle se déplace un chariot à moteur indépendant, mais dont le mouvement est cependant une conséquence de celui de la voiture.

2° Le système d'échappement du chariot réglé par le mouvement même de la voiture. Ce principe est absolument distinct de celui des trôlets auto-moteurs à marche synchrone de celle de la voiture.

3° Le type de chariot distributeur, de rails continu et sectionné, d'électro-aimant à succion, et de moteur à double enroulement permettant de faire marche avant et marche arrière suivant que la barre frotteuse de la voiture en contact est la barre avant ou la barre arrière, et application de cette propriété au ralentissement et à l'arrêt de la voiture de tramway.

4° La possibilité dans certains cas particuliers (ligne à profil très régulier) de supprimer le mécanisme d'échappement et de régler le mouvement du chariot pour l'envoi du courant dans son moteur spécial au moyen de barres avant et arrière convenablement disposées.

J. REYVAL.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

ACCUMULATEURS

Accumulateur Goller. Brevet anglais n° 5099; demandé le 8 mars 1899; accepté le 6 janvier 1900.

La plaque de cet accumulateur se compose d'un certain nombre de plaquettes unitaires placées de champ et réunies, en haut et en bas,

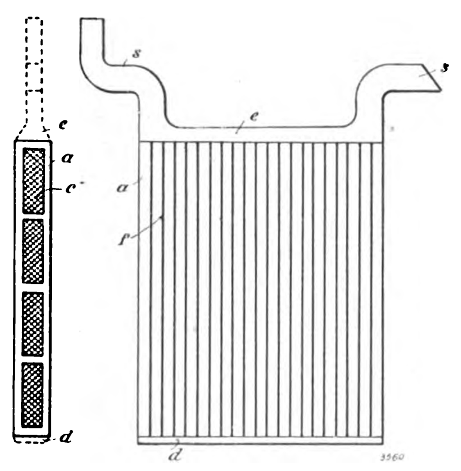


Fig. 1 et 2.

par soudure à des pièces en plomb servant de cadre.

La figure 1 montre la plaquette unitaire avec son cadre *a* et ses alvéoles remplis de matière active *c*, représentée par des hachures en croix. La figure 2 est une vue de face de la plaque constituée par l'assemblage de ses plaquettes, celles-ci sont placées leurs faces en regard, un espace libre *f* étant laissé entre elles pour permettre la circulation de l'électrolyte. Les plaquettes *a* sont soudées par le bas à une bande de plomb *d*; par le haut à une pièce *e* portant deux prolongements S S; l'un servant de connexion et de support, l'autre de support.

A. BR.

Accumulateur Hanscom et Hough. Brevet anglais n° 20986, demandé le 20 octobre 1899; accepté le 6 janvier 1900.

La plaque (fig. 1) se compose de pastilles rondes, ayant une ouverture centrale *x* et percées de trous plus petits *o*.

Ces pastilles sont obtenues par la compression de littrarge en poudre arrosée d'une solution de sucre et de sulfate d'ammoniaque; les pastilles une fois sorties du moule sont séchées, enfilées sur une tige en plomb et réduites à leur surface par le courant. Le plomb spongieux superficiel est comprimé et les pastilles sont enfin encastrées en coulant autour du plomb très chaud qui fait fondre le plomb spongieux comprimé. L'avantage de cette réduction superficielle et de

cette compression serait de sertir mieux les pastilles et d'éviter leur déchaussement ultérieur.

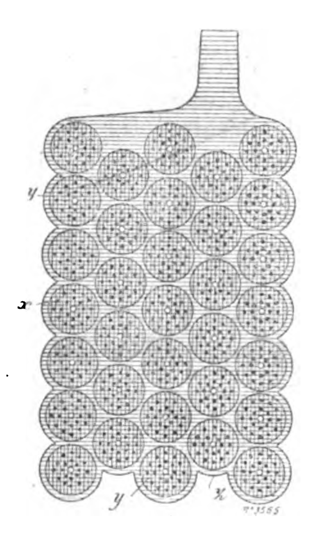


Fig. 1.

Les inventeurs décrivent en outre une presse permettant d'obtenir par moulage et compression les pastilles.

A. Br.

Accumulateur Heebner. Brevet anglais n° 14794, demandé le 18 juillet 1899; accepté le 19 août 1899.

Les électrodes sont placées au fond de bacs en ébonite ayant la forme de troncs de pyramide;

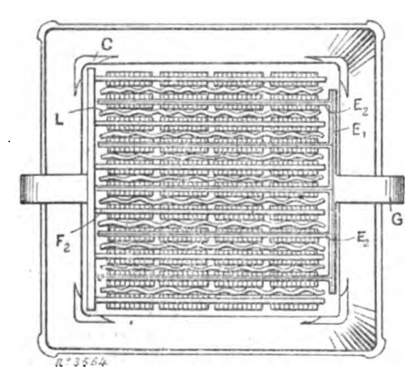


Fig. 1.

ces bacs s'emboîtent les uns dans les autres.

Chaque bac porte des surépaisseurs qui servent à soutenir le bac immédiatement superposé, tout en laissant un espace libre où sont logées les plaques. Les connexions d'un élément avec l'élément suivant sont des bandes minces G (fig. 2) qui passent d'un bac à l'autre en épousant la forme des parois.

La figure 1 représente une vue en plan d'un élément; les plaques E_2 (positives par exemple) sont reliées à une même barre E^1 prolongée par la bande mince G. Les négatives seraient représentées en F_2. Il y a entre les plaques des séparateurs ondulés L. Les surépaisseurs sur lesquelles doit reposer le bac supérieur sont figurées en C. La figure 2 est une coupe suivant xx; il y a quatre éléments superposés. Les électrodes sont constituées par un cadre f contenant des

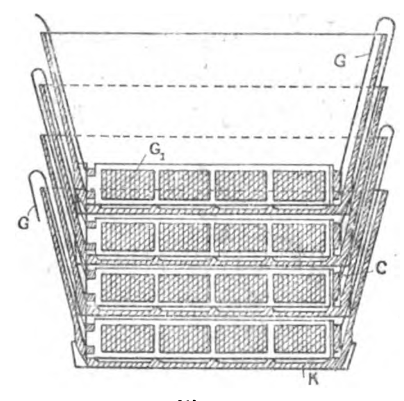


Fig. 2.

pastilles G' d'une épaisseur plus grande que celle du cadre; ces pastilles sont en plomb dont la surface est augmentée par des rugosités. L'inventeur décrit en outre une machine pour fabriquer les plaques de son accumulateur.

A. Br.

Grille d'accumulateur Gent et Jevons. Brevet anglais n° 7321, demandé le 7 avril 1899; accepté le 7 octobre 1899.

Cette grille, en plomb, a la forme d'un treillis ou d'un tissu à grandes mailles rectangulaires

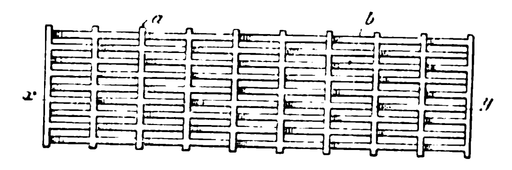




Fig. 1 et 2.

dont la chaine serait constituée par des tiges verticales a (fig. 1 et 2) et la trame par des

bandes horizontales *b* reliant les tiges verticales. Le tout est coulé d'une seule pièce.

La figure 1 montre une vue de face de la grille ; la figure 2, une coupe suivant *x y*.

A. Br.

Procédé Highfield de régulation à l'aide d'accumulateurs. Brevet anglais n° 537, demandé le 10 janvier 1899 ; accepté le 11 novembre 1899.

Pour maintenir sensiblement constant le potentiel aux bornes d'un circuit alimenté par une génératrice, l'inventeur emploie une batterie d'accumulateurs, un survolteur et une dynamo auxiliaire dite excitatrice.

Son procédé de régulation consiste à placer le circuit d'excitation du survolteur en dérivation aux bornes de la batterie et à intercaler dans ce circuit dérivé une dynamo auxiliaire tournant à la même vitesse que le survolteur.

a (fig. 1 à 3) est un moteur électrique, *b* est la

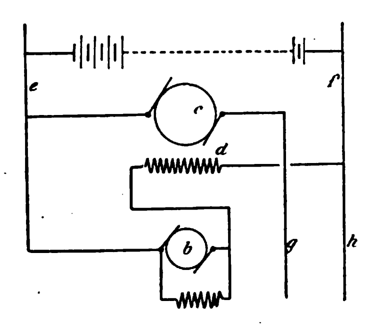


Fig. 1.

dynamo excitatrice, *c* est le survolteur, *d* l'excitation du survolteur alimentée par l'excitatrice *b*.

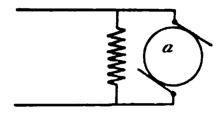


Fig. 2.

Les armatures du survolteur et de l'excitatrice sont sur le même arbre commandé par le moteur (fig. 3). Lorsque la tension sur le circuit *gh* baisse, le voltage de *b* devient supérieur à celui de la batterie ; la batterie charge cependant que le survolteur s'excite proportionnellement à l'intensité du courant fourni par *b*, et le voltage total tend à s'élever.

Lorsque le voltage de la batterie monte et devient supérieur à celui de *b*, cette dynamo reçoit du courant de la batterie, elle tourne en

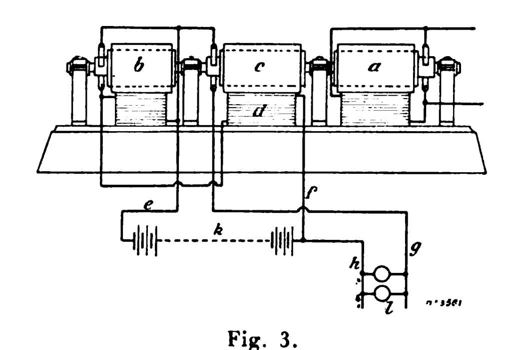


Fig. 3.

moteur et le survolteur s'excite proportionnellement au débit, mais en sens contraire, et le voltage total tend à baisser.

A. Br.

Machine Tiefenthal, Meyer et Neblung, à estamper les plaques d'accumulateurs. Brevet anglais n° 15 486, demandé le 28 juillet 1899; accepté le 30 septembre 1899.

Cet appareil permet d'obtenir des plaques ayant des alvéoles cylindriques, sans diminution de la rigidité des plaques ; les alvéoles d'une face sont dans le prolongement de ceux de l'autre face, une âme étant laissée entre eux.

La plaque à estamper *a* (voir la figure) est entourée par un cadre *b*, qui empêche l'aplatissement de la plaque lors de la compression ; elle est maintenue en haut et en bas par deux plateaux *f* et *g* qui sont reliés entre eux par des vis *d*. Les deux plateaux, le cadre et la plaque forment un tout solidement relié, qui peut se déplacer verticalement, guidé par tiges *c*, fixées sur le sommier *s* de la machine ; ce tout est suspendu en outre sur des ressorts *p* guidés par des tiges *o*.

Chaque plateau porte un certain nombre d'ouvertures cylindriques par lesquelles passent des épingles *l* et *i*. Les épingles inférieures *i* sont fixées à une pièce *k* ; les épingles supérieures sont fixées au plateau *m* d'une presse à estamper. En manœuvrant la presse, les épingles supérieures descendent et rapprochent la plaque des épingles inférieures ; la plaque se trouve ainsi comprimée entre elles et il se forme des alvéoles sur ses deux faces. Lorsque le plateau

de la presse remonte, les épingles supérieures se retirent des alvéoles qu'elles ont formés, les alvéoles de la face inférieure quittent les épingles inférieures par l'effet des ressorts p qui remontent la plaque et ses deux plateaux. La plaque ainsi estampée est ensuite retirée. A. B.

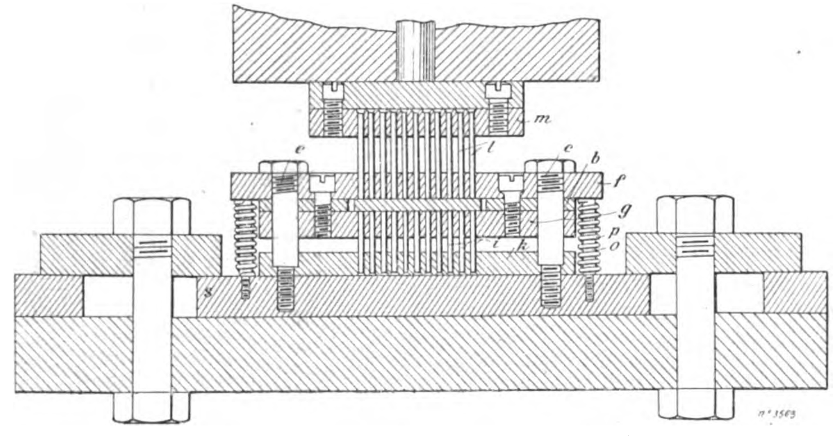


Fig. 1.

DIVERS

Emploi du calorimètre dans les mesures effectuées avec les oscillations de haute fréquence, par **F. Harms**. *Dr. Ann.*, t. V, p. 565-597, juillet 1901.

Dans un circuit traversé par des oscillations de haute fréquence, sont placées en dérivation l'une sur l'autre deux résistances liquides r_1, r_2 de capacité c_1 et c_2. Si aucune des substances n'exerce d'absorption sur les oscillations, le rapport des quantités de chaleur Q_1, Q_2 dégagés dans les deux résistances est égale à $\frac{r_1}{r_2}$ et est indépendant de la capacité et de la fréquence des oscillations. Si l'une des substances est absorbante, la quantité de chaleur qui s'y dégage est plus grande que la quantité satisfaisant à cette relation et la différence donne une mesure du pouvoir absorbant.

Soit Q la quantité de chaleur dégagée dans la résistance liquide non absorbante r, Q′ la même quantité dans la résistance absorbante r',

$$\frac{Q}{Q'} < \frac{\frac{1}{r}}{\frac{1}{r'}}$$

ce qui peut s'écrire :

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{\frac{1}{r}}{\frac{1}{r'} + A'}.$$

En d'autres termes on peut interpréter le phénomène en attribuant à la substance absorbante une certaine conductibilité anomale A′, définie par l'équation :

$$A' = \frac{1}{r}\frac{Q'}{Q} - \frac{1}{r'}.$$

Si γ est la *capacité de résistance* du vase, la résistance anomale spécifique A sera définie par :

$$A = A'\gamma = \frac{Q'}{Q}\frac{1}{r}\gamma - \frac{1}{r'}.$$

Pour calculer $\frac{Q'}{Q}$ d'après les élévations de température observées, il faudrait connaître la capacité calorifique du système. On évite la détermination de cette capacité en étalonnant l'appareil par une expérience faite au moyen d'oscillations très lentes. La loi qui lie l'élévation de température à la capacité calorifique reste la même, mais il n'y a pas d'absorption anomale.

On a donc dans ce cas,

$$\frac{Q_0}{Q'_0} = \frac{\frac{1}{r}}{\frac{1}{r'}}.$$

d'où

$$A = \frac{\gamma}{r'}\left(\frac{Q_0}{Q'_0}\frac{Q'}{Q} - 1\right).$$

Le terme $\frac{Q_0}{Q'_0} \cdot \frac{Q'}{Q}$ peut être remplacé en fonc-

tion des élévations de température t_0, t'_0, t', t, par $\frac{t}{t'} : \frac{t_0}{t'_0}$.

Les coefficients d'absorption trouvés par cette méthode pour des longueurs d'onde comprises entre 522 et 1 230 cm sont environ la moitié de ceux que Drude a déterminés pour la longueur d'onde de 75 cm.

M. Harms attribue ces divergences aux perturbations provoquées dans ces mesures par des oscillations plus lentes.

D'après la théorie de Liebenow la résistance élevée que possèdent les alliages métalliques provient de ce qu'il se produit pendant le passage du courant des forces contre-électromotrices thermo-électriques aux points de contact des différents éléments de l'alliage. Ces forces électromotrices ne prendraient leur valeur définitive qu'au bout d'un certain temps après la fermeture du circuit. Si on emploie des oscillations de haute fréquence, la résistance de l'alliage devrait décroître quand la fréquence augmente. Les mesures de résistance effectuées par la méthode calorimétrique n'ont pas permis de constater avec certitude la variation annoncée.

M. L.

Décharge par lueurs dans les mélanges gazeux par **W. Heuse**. *Dr. Ann.* t. V, p. 670-671, juillet 1901.

L'auteur a déterminé, par la méthode des sondes de platine, le champ électrique à l'intérieur de la lumière positive non stratifiée : 1° dans l'azote, 2° dans la vapeur de mercure; 3° dans le mélange de ces deux gaz.

Le champ électrique dans l'azote est, à pression constante, indépendant de la température.

Dans la vapeur de mercure, le champ est très faible : le quotient de ce champ par la pression diminue quand la pression augmente, beaucoup plus rapidement que dans l'azote ou l'hydrogène.

Le mélange d'une faible quantité de vapeur de mercure avec l'azote provoque une diminution notable du champ. La pression de l'azote à 18° étant 1,2 mm, le champ passe par un minimum quand la température atteint 91°, (pression de la vapeur de mercure = 0,1747), il augmente de nouveau quand on dépasse cette température.

En plaçant une portion du tube dans un mélange réfrigérant à — 20°, de manière à diminuer encore la force élastique de la vapeur de mercure, on constate une augmentation du champ dans l'azote,

La vapeur de mercure commence à produire une augmentation de la chute de potentiel à la cathode entre 70° et 100°. M. L.

Décharge par lueur dans l'hélium, par **W. Heuse**. *Dr. Ann.* t. V, 678-685, juillet 1901.

Dans l'hélium, la décharge par lueurs commence à se produire à une pression notablement plus élevée que dans l'hydrogène : l'aspect de la décharge est le même dans l'hélium à 28,1 mm que dans l'hydrogène à 3,9 mm. Les stratifications se forment déjà à la pression de 5-6 mm. D'après les valeurs du champ dans la lumière positive non stratifiée, l'hélium se place, dans l'ordre de grandeur décroissante, entre le mercure et l'hydrogène : le quotient du champ par la pression diminue quand la pression croît, mais la diminution est moins accentuée que dans les autres gaz.

En avant de la cathode, le champ présente un minimum fort prononcé et un autre minimum, mais moins accusé, en avant de l'anode : le maximum se trouve dans la région médiane. M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du mercredi 3 juillet 1901

M. Blondin décrit les ***transformateurs électrolytiques de courants alternatifs en courants continus, système Pollak***. Un article sur ce sujet sera publié dans l'*Éclairage Électrique*.

M. E. Hospitalier expose le principe des appareils qu'il a récemment inventés pour l'étude de l'arc alternatif et pour l'enregistrement de la forme des courbes de courants alternatifs : ***l'arcoscope*** et ***l'ondographe***. Ces deux appareils sont basés sur l'emploi de la méthode stroboscopique ; ils réalisent la généralisation de la mé-



thode d'enregistrement par points de M. Joubert : lorsqu'un phénomène constant se reproduit à intervalles de temps réguliers, on peut déterminer un des points de ce phénomène pendant une première période, puis un autre point très voisin du premier, en avance ou retard sur celui-ci, pendant une seconde période, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on ait déterminé point par point l'ensemble du phénomène.

L'arcoscope se composé d'un moteur asynchrone actionné par le même courant qui alimente l'arc à observer, et qui entraîne, par un jeu d'engrenages, un disque percé d'une petite fente ; les engrenages sont calculés de façon que, si le phénomène se produit n fois par minute, le disque fasse $n - 1$ tours pendant le même espace de temps. Une lentille placée devant la fente du disque projette sur un écran l'image aggrandie de l'arc.

M. Hospitalier montre, par ce dispositif les allumages et les extinctions successifs de l'arc alternatif.

Nous n'avons pas à revenir sur l'*ondographe* qui a été décrit dans le dernier numéro.

M. Laporte expose ensuite les résultats de ***l'étude de la lampe à arc Bremer*** faite au Laboratoire central d'Électricité à propos de l'Exposition de 1900.

On sait que cette lampe se compose, en principe, de deux charbons disposés presque verticalement, à angle aigu l'un avec l'autre. Ils tendent à descendre par leur propre poids ; ils en sont empêchés par le serrage d'une plaque commandée par l'électro de réglage ; lorsque l'intensité du courant dans l'arc descend au-dessous de la valeur normale, la plaque est déserrée et permet le défilage des charbons. Un dispositif spécial permet l'allumage automatique. Le dispositif le plus remarquable de cette lampe consiste dans le réglage dans l'intervalle de deux rapprochements des charbons : un électro-aimant parcouru par le courant principal, est muni de prolongements polaires qui viennent embrasser l'arc et produit ainsi un soufflage magnétique d'autant plus intense que le courant est plus fort ; il en résulte un allongement de l'arc et, partant, une augmentation de sa résistance automatique.

On conçoit que pour obtenir de bons résultats par ce moyen, il fallait disposer d'arcs de très grande longueur. M. Bremer y est parvenu par l'emploi de charbons spéciaux. Une lampe de 43 à 45 volts et 9 ampères comporte un charbon positif spécial à mèche, de 7 mm de diamètre et un charbon négatif homogène Siemens de 6 mm de diamètre ; le charbon positif a une résistivité de 12 300 microhms : cm et le charbon Siemens une résistivité de 9 400 à 8 300. La structure du charbon Bremer est beaucoup moins homogène que celle des charbons ordinaires ; ce charbon comprend, dans sa composition, différents sels métalliques et il donne en brûlant beaucoup de résidus, principalement de la magnésie.

Des essais ont montré que dans les conditions ordinaires, on obtient, avec 9 ampères, un arc stable à 24 volts ; à 32 volts, l'arc, trop long, n'est plus stable ; à 42 ou 45 volts, la longueur de l'arc est donc très grande et sa stabilité ne peut être assurée que par le soufflage magnétique.

Les essais de rendement ont donné les résultats suivants :

Lampe formée d'un charbon positif Bremer de 7 mm et d'un charbon négatif homogène Siemens de 6 mm ; à 28 volts et 9 ampères : 6 700 lumens, soit 19,8 lumens par watt ;

Lampe formée de charbons de Nanterre, positif à âme de 12 mm, négatif homogène de 8 mm ; 30 volts et 10 ampères : 3 400 lumens, soit 11,3 lumens par watt.

La couleur de la flamme, en raison des sels contenus dans les charbons, est d'une couleur très agréable, se rapprochant de la lumière des lampes à incandescence poussées.

La répartition de la lumière, en raison du réflecteur conique employé, est aussi très particulière.

Le tableau suivant résume les essais comparatifs faits sur la lampe Bremer. L'intensité était de 8 à 9 ampères, la différence de potentiel de 45 volts.

Lampe Bremer Charbons. $\frac{7}{6}$	Arc nu $\frac{A\,12}{A\,7}$	Arc nu $\frac{A\,7}{H\,6}$	Lampe Bremer avec globe $\frac{7}{6}$	Arc ordinaire avec globe $\frac{A\,7}{H\,6}$	
427	362	385	400	486	watts.
13 950	4 210	6 500	8 000	4 500	lumens.
»	335	520	640	360	bougies (moyenne sphérique.
32,7	11,9	16,8	20	11,7	lumens par watt.

M. Janet expose ensuite les résultats des expériences faites au Laboratoire central d'Électricité sur ***l'arc chantant***.

Le dispositif expérimental adopté est le suivant : dans le circuit primaire d'un petit transformateur, est placé un microphone transmetteur ; dans le circuit du secondaire de ce transformateur est placé un second transformateur ; les extrémités du secondaire de celui-ci sont réliées à un arc ordinaire à courant continu, par l'intermédiaire d'un condensateur qui empêche le courant continu de passer. Dans ces conditions, l'arc reproduit d'une façon très pure et très nette, quoique faible, toutes les paroles, les chants, la musique, émis devant le microphone transmetteur. G. P.

SOCIÉTÉ ALLEMANDE D'ÉLECTROCHIMIE [1]

Congrès de Fribourg (17-20 avril 1901)

Sur une nouvelle méthode pour la détermination des vitesses des ions, d'après les recherches de B.-D. Steele [2], par le professeur **Dr R. Abegg**, de Breslau. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VII, p. 618, 16 mai 1901.

La mesure directe de la vitesse des ions par le courant électrique a d'abord été effectuée par Lodge [3]. Plus tard, une série de recherches de Wetham n'a donné que des résultats en partie inexacts.

Les recherches de F. Kohlrausch [4] et de H. Weber [5] ont été purement théoriques. C'est le professeur Masson [6] de Melbourne qui le premier a déterminé clairement les conditions importantes à réaliser pour de telles mesures. Cependant la méthode de Masson ne s'applique qu'aux vitesses des ions dans la gélatine et nécessite l'emploi d'électrolytes colorés. Or Hittorf a montré que la présence des diaphragmes et aussi de la gélatine n'est pas sans influence sur la vitesse des ions, et seule celle relative aux solutions hydratées est intéressante pour la théorie du passage du courant.

Steele a réussi à éviter ces inconvénients par une méthode élégante et rapide, basée sur le principe suivant :

Si on superpose dans un tube vertical deux électrolytes ayant un ion commun, l'anion par exemple (comme dans Li Cl et KCl) et de concentration sensiblement équivalente, par le passage du courant dans un sens déterminé, l'ion commun se déplacera dans un sens, et les deux ions différents, l'un derrière l'autre, en sens inverse.

Trois cas sont alors à considérer, selon que la vitesse de l'ion qui suit est égale (I), plus grande (II) ou plus petite (III) que celle de l'ion qui précède. Dans le cas I, la conductibilité et la chute de potentiel ont les mêmes valeurs dans les deux électrolytes. Dans le cas II la conductibilité de l'électrolyte antérieur (compté ici dans le sens du mouvement des deux ions inégaux) est moindre et sa chute de potentiel plus grande que les valeurs correspondantes de l'électrolyte postérieur. C'est l'inverse qui se produit dans le cas III. Le degré de dissociation est supposé ici à peu près égal pour les deux électrolytes, ce qui a lieu le plus généralement.

Par suite de la pression osmotique, l'ion d'un électrolyte sera toujours poussé vers l'autre électrolyte et il en résultera dans le cas I une diffusion qui effacera la limite franche initiale des deux solutions.

Dans le cas II, cette diffusion est encore favorisée par ce fait que l'ion plus lent de l'électrolyte antérieur diffusant en arrière de la limite initiale arrive dans un milieu où la chute de potentiel est plus faible et par conséquent où sa vitesse est encore ralentie, tandis que l'ion plus rapide de l'électrolyte postérieur, et qui a diffusé en avant, est accéléré puisqu'il trouve un milieu à chute de potentiel plus élevée.

Par contre, le cas III qui est employé dans la nouvelle méthode, offre comme particularité intéressante que la séparation des deux électrolytes est obtenue automatiquement et est très nette. En effet, dès qu'un des ions de l'électrolyte antérieur franchit la limite par diffusion, il trouve une chute de potentiel plus élevée qui accroît sa vitesse dans le sens du mouvement des ions et tend à la ramener en avant. Inversement, l'ion de l'électrolyte postérieur qui a diffusé tend à retomber dans la couche limite.

Mais cette couche limite se meut avec une

---

[1] Le dernier Congrès de cette Société tenu à Fribourg (Bade) était présidé par le professeur Dr Van'tHoff.

[2] *Trans. Chem. Soc.*, 1901, t. LXXIX, p. 414.

[3] *Brit. assoc.*, 1886, p. 395.

[4] *Wiedem. Ann.*, t. XLII, p. 209, 1897.

[5] *Berl. Akad.*, p. 836, 1897.

[6] *Ostw. Zeitschr.*, t. XXIX, p. 501, 1899.

vitesse qui représente simultanément la vitesse des ions plus lents les plus en avant sous leur chute de tension plus élevée et celle des derniers ions plus rapides sous leur chute de tension moindre. Si on appelle P la chute de tension en volts par centimètre, dans la partie antérieure et u la vitesse spécifique (pour $P = 1$) des ions plus rapides antérieurs, la vitesse U de tous ces ions, des derniers aussi, formant la limite, est égale à $P. u$.

Si on imagine alors de placer à l'autre extrémité de l'électrolyte antérieur un nouvel électrolyte ayant de commun avec ce dernier le cathion (K dans notre exemple) et un anion différent très lent comme l'anion acétique (Ac.), le même courant pour lequel on obtient la limite Li | K très nette donnera pour les mêmes raisons une limite Cl | Ac également nette qui se meut naturellement en sens inverse de la première et avec une autre vitesse V. Cette vitesse est évidemment celle des ions Cl à la couche limite Cl | Ac dont la vitesse spécifique v est multipliée par la chute de tension P, la même que précédemment puisque la conductibilité de l'électrolyte du milieu (KCl) reste égale d'une limite à l'autre. On a donc comme précédemment $V = Pv$ de sorte que le rapport $\frac{U}{V}$ des vitesses avec lesquelles se meuvent les couches limites est égal au rapport $\frac{u}{v}$ des deux vitesses spécifiques des ions de l'électrolyte du milieu et qu'on peut le déterminer sans connaître P.

Contrairement à ce que faisait Masson qui employait l'électrolyte à l'état gélatineux, Steele conserve sous la forme d'une solution hydratée l'électrolyte dont il veut déterminer la vitesse des ions pendant qu'il rend gélatineux les deux électrolytes indicateurs. Le premier est placé dans les branches A et B (fig. 1) d'un tube en U ou en H. Des joints en caoutchouc peuvent les relier soit aux tubes CC soit aux tubes DD qui

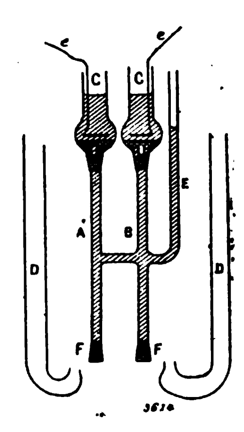


Fig. 1.

renferment les électrodes et les liquides gélatineux.

Comme les concentrations de l'électrolyte moyen et des indicateurs sont équivalentes, on peut évaluer facilement par avance la densité ; de sorte que si l'électrolyte indicateur forme une solution plus dense que l'électrolyte moyen, on emploie les tubes D ; dans le cas contraire, on choisit les tubes C.

Steele n'emploie pas d'électrolyte coloré, les couches limites étant suffisamment nettes.

Les mesures de U et de V s'effectuent en déterminant à l'aide d'un cathétomètre les distances parcourues par les couches limites pendant un temps donné. Comme les erreurs ne dépassent pas ± 0,1 mm et qu'on peut effectuer des lectures de plusieurs centimètres, on voit que l'exactitude de la méthode est très grande.

Voici quelles valeurs ont été obtenues ainsi avec une solution normale de KBr :

TEMPS EN MINUTES	DISTANCE EN MM parcourue par les couches limites.		RAPPORT des vitesses. $\frac{d}{d'} = \frac{U}{V}$	FACTEUR DE TRANSPORT du cathion. $\frac{d}{d+d'} = \frac{U}{U+V}$
	d (cathions).	d' (anions).		
30	13,2	12,3	0,930	0,482
54	22,8	20,4	0,895	0,472
72	29,0	26,6	0,903	0,474
103	39,9	35,5	0.893	0.472

La détermination de la limite se fait encore très bien par cette méthode pour des solutions



1/10 normales. Dans le cas des plus grandes dilutions l'auteur a essayé d'autres méthodes qu'il ne décrit pas ici.

Il est nécessaire de plonger dans un bain d'eau le tube qui sert aux mesures afin d'éviter les courants de convection résultant de la chaleur du courant et qui amèneraient l'effacement de la limite.

Des dispositions spéciales doivent être prises en vue d'éviter la formation des ions H et OH qui, par leur grande vitesse, dépasseraient les ions indicateurs et effaceraient la différence dans la chute de potentiel aux deux côtés, différence nécessaire pour le maintien de la limite. Dans ce but, on emploie pour éviter la formation des ions H, une anode en Cu dans Cu SO^4, en Cd dans Cd SO^4, une addition de Li^2CO^3 dans Li Cl; pour éviter la formation des ions OH, on additionne d'acide acétique l'électrolyte indicateur acétate de sodium et de $K^2Cr^2O^7$ le $KCrO^4$.

Le tableau suivant se rapporte à des essais entrepris pour montrer que le facteur de transport déterminé par cette méthode est bien indépendant des liquides indicateurs employés.

Solution Mg SO^4 binormale.

Limites		Indicateurs	Facteur de transport $\frac{V}{U+V}$		
Cathions.	Anions.		Méthode de Steele.	Méthode d'Hittorf.	Méthode de Masson.
Cu/Mg	SO^4/CrO^4	$CuSO^4$ et K^2CrO^4	0,729	0,732 et 0,744	0,690
Cu/Mg	$SO^4/C^2H^3O^2$	$CuSO^4$ et $NaC^2H^3O^2$	0,734		
Cd/Mg	$SO^4/C^2H^3O^2$	$CdSO^4$ et $NaC^2H^3O^2$	0,738		
Li/Mg	$SO^4/C^2H^3O^2$	Li^2SO^4 et $NaC^2H^3O^2$	0.56 à 0,61		

Pendant que les trois premiers essais montrent un très bon accord avec les nombres obtenus d'après la méthode analytique de Hittorf, le quatrième donne des valeurs variables et fausses parce qu'ici le cathion indicateur Li ne remplit pas la condition nécessaire d'être spécifiquement plus lent que le cathion Mg.

Des mesures effectuées avec des sels alcalins, en prenant comme indicateurs Li et $C^2H^3O^2$, ont donné les valeurs ci-contre.

La colonne *a* se rapporte à la moyenne de toutes lectures faites pour des temps différents; dans la colonne *b* on a indiqué les valeurs extrêmes obtenues, ce qui permet de se rendre compte de la grandeur des erreurs d'observation.

La tension à adopter dans ces mesures doit être suffisamment grande pour empêcher la diffusion; d'un autre côté, elle ne doit pas être trop élevée, car il en résulterait un dégagement de chaleur nuisible. Si les tensions qu'on doit ainsi employer sont différentes pour les deux limites, on choisit pour chacune de celles-ci des sections de tubes différentes, de telle façon que la chute de potentiel atteigne la valeur déterminée. Comme l'échelle des tensions utilisables

Sel	Concentration	Facteur de transport $\frac{V}{U+V}$ — Steele a	Steele b	Masson	Kohlrausch	Hittorf d
KCl	2,0 n.	0,489	0,493—0,486	0,483	0,503	—
	1,94	—	—	—	—	0,516
	1,0	0,488	0,493—0,486	0,490	—	—
	0,7	—	—	—	—	0,515
	0,5	0,490	0,041—0,488	0,495	—	—
NaCl	2,9	—	—	—	—	0,647
	2,0	0,590	0,595—0,587	0,587	0,600	—
	1,0	0,592	0,593—0,587	0,595	—	—
	0,8	—	—	—	—	0,634
	0,5	0,597	0,603—0,596	0,598	—	—
KBr	3,1	—	—	—	—	0,528
	2,0	0,468	0,472—0,462	—	—	—
	1,0	0,473	0,477—0,470 0,482—0,472	—	—	—
	0,5	0,478	0,480—0,476	—	—	—
	0,1	0,483	0,486—0,479	—	—	—
	0,07	—	—	—	—	0,514
NaBr	0,5	0,595	0,597—0,594	—	—	—

offre une assez grande latitude, il suffit dans

presque tous les cas d'avoir pour les diamètres des tubes les rapports 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3, 2 : 3 que l'on obtient facilement à l'aide de 3 tubes différents.

Si on calcule la chute de potentiel linéaire P dans l'électrolyte du milieu en mesurant galvanométriquement l'intensité du courant et en appliquant les chiffres de conductibilité donnés par Kohlrausch, il suffit de diviser par la valeur ainsi obtenue de P les valeurs observées de U et V pour avoir les vitesses u et v des ions en centimètres par seconde. On trouvera dans le tableau suivant quelques chiffres ainsi obtenus pour les sels alcalins :

SEL	CONCENTRATION	VITESSES DES IONS EN CENTIM. PAR SECONDE			
		u		v	
		Valeur calculée d'après $\frac{U}{P}$	Valeur calculée d'après la conductibilité et le facteur de transport	Valeur calculée d'après $\frac{V}{P}$	Valeur calculée d'après la conductibilité et le facteur de transport
KCl	2,0 n.	0,000 483	0,000 490	0,000 458	0,000 468
	0,5	0,000 553	0,000 542	0,000 529	0,000 520
NaCl	2,0	0,000 274	0,000 275	0,000 395	0,000 396
	1,0	0,000 318	0,000 315	0,000 452	0,000 456
KBr	2,0	0,000 538	0,000 537	0,000 471	0,000 472
	1,0	0,000 542	0,000 557	0,000 484	0,000 500
	0,5	0,000 568	0,000 572	0,000 516	0,000 523

L'accord entre les deux colonnes montre bien que la vitesse des couches limites est identique à celle des ions de l'électrolyte du milieu.

Ce tableau montre ainsi que les vitesses d'un ion ne sont pas toujours les mêmes, mais varient avec la concentration et aussi avec l'électrolyte. Les vitesses des ions sont, en effet, comme l'on sait, proportionnelles au degré de dissociation x, de sorte que l'on a

$$u = x . u_0 \quad \text{et} \quad v = x . v_0$$

u_0 et v_0 étant les vitesses pour les solutions infiniment étendues.

L'orateur termine en signalant que des conclusions intéressantes ont été obtenues à l'aide de cette méthode sur l'existence d'ions complexes dans certains électrolytes ; mais il ne donne pas de renseignements plus détaillés à ce sujet.

Le bioxyde d'hydrogène comme acide, d'après les recherches de Calvert, par le Dr **Bredig**, de Leipzig. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VII, p. 622, 16 mai 1901.

On a déjà souvent émis l'opinion (1) que le bioxyde d'hydrogène pouvait être considéré comme un acide dont les peroxydes des métaux alcalins et alcalino-terreux représentent les sels.

Sous la direction de l'orateur, Calvert a entrepris de rechercher l'état du bioxyde d'hydrogène dans les solutions alcalines à l'aide des méthodes de chimie physique.

Quand on neutralise une lessive étendue de soude avec de l'acide acétique, à volumes constants, on sait qu'il n'y a pas abaissement du point de congélation. Calvert a trouvé que le point de congélation d'une lessive de soude 1/4 normale n'est pas abaissé non plus par l'addition de 1/6 d'eau oxygénée, quoique celle-ci seule abaisse de 0,33° le point de congélation de l'eau pure. L'eau oxygénée doit donc être combinée à la lessive de soude.

La vitesse de saponification de l'acétate d'éthyle par un alcali devient très ralentie par l'addition simultanée d'eau oxygénée. Ainsi une certaine quantité d'acétate d'éthyle saponifiée en 18 minutes par une solution de soude 1/80 normale ne l'était plus qu'en 150 minutes par une addition de 1/20 H^2O^2.

Quand on neutralise une lessive de soude par un acide, la conductibilité moléculaire de l'alcali baisse environ de la moitié au tiers de sa valeur initiale. Le même fait a été constaté ici par neutralisation avec l'eau oxygénée, ainsi qu'il résulte du tableau suivant :

Conductibilité moléculaire à 25° en unités mercure

	LiOH	NaOH	KOH	RbOH	CsOH
1/32 alcali seul . . .	195,5	213,1	230,6	234,9	239,4
1/32 alcali + 1/16 H^2O^2	80,4	91,0	111,6	115,2	116,5
1/32 alcali + 1/32 HCl	97,1	107,2	127,8	129,0	128,6

Les mesures de conductibilité présentaient quelques difficultés par suite de l'action catalytique décomposante qu'exercent la plupart des métaux sur l'eau oxygénée. C'est ainsi qu'il est

(1) Schöne, Hanriot, Spring, V. Baeyer, et d'autres.



impossible d'effectuer les mesures avec des électrodes en platine. Les auteurs employaient des électrodes en fer blanc qui agissent en effet très peu dans l'eau oxygénée alcaline et ne se rouillent pas. La précision de ces mesures atteignait 0,5 p. 100.

L'eau oxygénée agissant comme un acide très faible, ses sels présentent une hydrolyse sensible. Pour mesurer leur conductibilité à l'état non hydrolysé, Calvert s'est servi d'une méthode [1] imaginée par l'orateur et qui consiste à empêcher l'hydrolyse d'un sel d'une base forte et d'un acide faible en additionnant d'un grand excès d'acide, d'après la loi des masses. On obtient ainsi la conductibilité du sel pur non hydrolysé, car l'excès de l'acide faible devient non conducteur dans le mélange, en présence de son sel.

Les valeurs ainsi obtenues par Calvert ont été les suivantes :

H^2O^2 — sel de	LiOH	NaOH	KOH	RbOH	CsOH
$\mu_{32} =$	70	80	101	105	106
$a' =$	44	45	44	46	46

La vitesse de l'anion du bioxyde d'hydrogène se calcule d'après cela par la méthode de Kohlrausch et Ostivald [2] en déduisant la vitesse des cathions. On trouve ainsi $a' = 45$.

Une dernière preuve directe électrochimique de la formation d'anions de bioxyde d'hydrogène en solution alcaline a été réalisée par l'expérience suivante, semblable à l'expérience de cours de Noyes et Blanchard [3]. Dans un tube en U (fig. 1) se trouve à la partie moyenne inférieure a une solution gélatineuse rendue conductrice par du nitrate de potassium et une solution alcaline d'oxyde de plomb. Les couches gélatineuses b_1 b_2 immédiatement au-dessus contiennent seulement du nitrate de potassium. Les deux branches c_1 c_2 du tube sont enfin remplies d'une solution alcaline d'eau oxygénée. Le tube est refroidi extérieurement par de la glace et on fait passer un courant de 0,1 à 0,3 ampère dans le sens des flèches, en employant des électrodes dd en fer blanc. Si le bioxyde d'hydrogène chemine comme anion vers l'anode, il doit traverser, dans le sens inverse des flèches, la couche indifférente b_1 et finalement donner par sa rencontre avec la solution alcaline de plomb, dans la couche limite entre b_1 et a un précipité brun de peroxyde. C'est bien ce qu'on observe en fait et on obtient toujours en f un anneau brun de peroxyde. On peut donc en conclure que le bioxyde d'hydrogène forme bien des anions en solution alcaline.

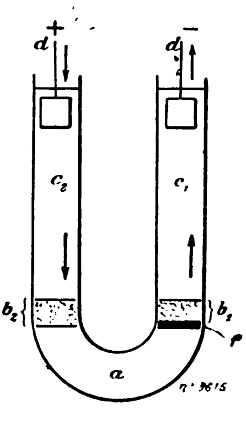


Fig. 1.

En résumé, l'eau oxygénée agit bien comme un acide faible; ses sels sont sensiblement hydrolysés. Il offre à ce point de vue une grande analogie avec l'acide hypochloreux et est décomposé catalytiquement par les mêmes corps : platine, ruthénium, bioxydes de cuivre et de manganèse, oxyde de cobalt, etc., en dégageant de l'oxygène.

Discussion. — A la fin de cette communication, le président demande si le bioxyde d'hydrogène agit comme acide monovalent.

Le Dr Bredig répond que des recherches sont entreprises actuellement sur la valence et le poids moléculaire de cet anion; mais que ces recherches ne sont pas encore terminées.

Sur la réduction électrochimique des acétones, par le professeur **Dr K. Elbs**, de Giessen. *Zeitschrift für Elecktrochemie*, t. VII, p. 644, 23 mai 1901.

L'action réductrice du courant est plus forte que celle du mélange de zinc et d'acide acétique car elle ne se limite pas comme cette dernière aux acétones aromatiques.

On emploie comme anodes des plaques de

(1) *Zeitschr. f. physik. Chem.*, t. XIII, p. 214, 1894.
(2) *Zeitschr. f. physik. Chem.*, t. XIII, p. 191, 1894.
(3) *Id.*, t. XXXVI, p. 1901.

plomb, et comme cathodes, des cylindres en feuille de plomb perforée. La solution anodique est constituée par de la soude ou de l'acide sulfurique à 10 p. 100 ; à la cathode on place une solution d'acétone dans de l'alcool plus ou moins étendu, avec 2 p. 100 d'acétate de sodium ou 1 p. 100 d'acide sulfurique. La densité de courant à la cathode variait ici de 0,5 à 1,5 amp. : dm^2, et la température de 50 à 90° C.

En solution faiblement alcaline on obtient comme produits de réduction un mélange d'alcool et de pinacone, quand on part des acétones de la série grasse ou des acétones mixtes. Avec les acétones aromatiques on obtient surtout l'alcool secondaire.

En solution faiblement acidulée sulfurique, les premières donnent encore un mélange d'alcool et de pinacone ; mais les acétones aromatiques donnent surtout de la pinacone. Les pinacones facilement transformables, comme la benzopinacone par exemple, donnent la β-pinacoline.

La réduction électrochimique en solution alcaline faible est un procédé de préparation pour le benzhydrol $C^6H^5 — CH (OH) — C^6H^5$ et ses homologues. En solution sulfurique faible, un grand nombre de pinacones s'obtiennent plus commodément que par les voies jusqu'ici employées.

Dans un brevet allemand (n° 113 719), la maison E. Merck a revendiqué la fabrication électrochimique de l'alcool isopropylique et de la pinacone de l'acétone, dans des conditions semblables à celles ci-dessus indiquées.

Discussion. — A une question du professeur Willgerodt, le Dr Elbs répond qu'il a pu obtenir de très bons rendements jusque 90 p. 100 de produit pur.

Sur les amalgames des substitués d'ammonium, par le **Dr Crotogino**, de Clausthal. *Zeitschrift für Elektrochemie* t. VII, p. 648, 23 mai 1901,

On connaît depuis longtemps l'amalgame d'ammonium, obtenu en traitant les solutions de sel ammoniaque soit par l'amalgame de sodium, soit par électrolyse avec une cathode de mercure.

Les amalgames des produits de substitution ont été observés pour la première fois par Le Blanc (1) en électrolysant les sels de mono-, à tétraméthylammonium et ceux de mono- à triéthylammonium, avec des cathodes en mercure ; et en mesurant les polarisations résultantes. L'auteur a voulu rechercher ici, d'une part, les réactions chimiques de ces amalgames, et d'autre part la possibilité de produire ces amalgames en partant d'autres bases.

Dans l'appareil d'électrolyse employé, la cathode est constituée par un jet de mercure qui conduit l'amalgame dans un deuxième vase approprié, rempli par exemple d'acide chlorhydrique et dans lequel on examine les produits de décomposition. Le méthylammonium donne par sa décompositon de la méthylamine et pas d'ammoniaque. Par contre, le diméthylammonium donne, non pas la diméthylamine, mais seulement la monométhylamine, car il ne se dégage pas d'hydrogène et l'équation de décomposition est :

$$2\ AzH^2\ (CH^3)^2 = 2\ AzH^2CH^3 + (CH^3)^2$$

Le tri- et le tétraméthylammonium ne donnent pas d'amalgame.

Il en résulte qu'on peut effectuer par électrolyse une séparation des différentes bases de méthylamine.

Par l'électrolyse de l'éthylamine, on obtient un amalgame. Avec la diéthylamine ; il ne s'en produit que des traces en employant de très hautes densités de courant.

On obtient également un amalgame avec l'éthylène diamine, et pas avec la diéthylène diamine. On peut ainsi séparer par formation d'amalgame l'éthylamine et l'éthylène diamine de leurs homologues.

Tous ces différents amalgames s'obtiennent aussi facilement en traitant les solutions salines correspondantes par l'amalgame de sodium.

L. Jumau.

(1) *Zeitschr. f. physik. Chemie,* t. V, p. 467.

Le Gérant : **C. NAUD.**



Tome XXVIII. **Samedi 27 Juillet 1901.** **8e Année. — N° 30**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

REDRESSEURS ÉLECTROLYTIQUES DE COURANTS

SYSTÈME POLLAK

Dans le numéro du 12 février 1898 de ce journal (t. XIV, p. 293), nous avons publié, à l'occasion des communications sur les soupapes électrolytiques faites par M. Pollak à l'Académie des sciences de Paris, et par M. Graetz à la Société allemande d'électrochimie, un historique de la question (1). Depuis cette époque, quelques travaux intéressants sur le même sujet ont été publiés par diverses revues étrangères. Nous nous proposons d'en donner très prochainement une étude d'ensemble. Aujourd'hui, nous nous bornerons à

(1) Rappelons que le phénomène fondamental, découvert en 1857 par Buff, consiste dans ce fait qu'une cellule électrolytique contenant une lame d'aluminium et une lame métallique quelconque plongées dans un électrolyte, laisse passer un courant dont le sens est tel que la lame d'aluminium serve de cathode, mais arrête un courant de sens inverse pourvu toutefois que la différence de potentiel appliquée aux électrodes ne dépasse pas une certaine valeur (une vingtaine de volts).

Cette propriété, passée inaperçue, fut observée de nouveau dix-sept ans plus tard, en 1874, par M. Ducretet qui signala son application à la sélection des courants télégraphiques.

Beetz, en 1877, et Streintz, en 1887, cherchèrent à se rendre compte de la cause du phénomène ; l'un et l'autre l'attribuèrent à la formation, sur la lame d'aluminium, d'une couche d'alumine jouant le rôle d'une résistance de très grande valeur ou d'une lame diélectrique de condensateur.

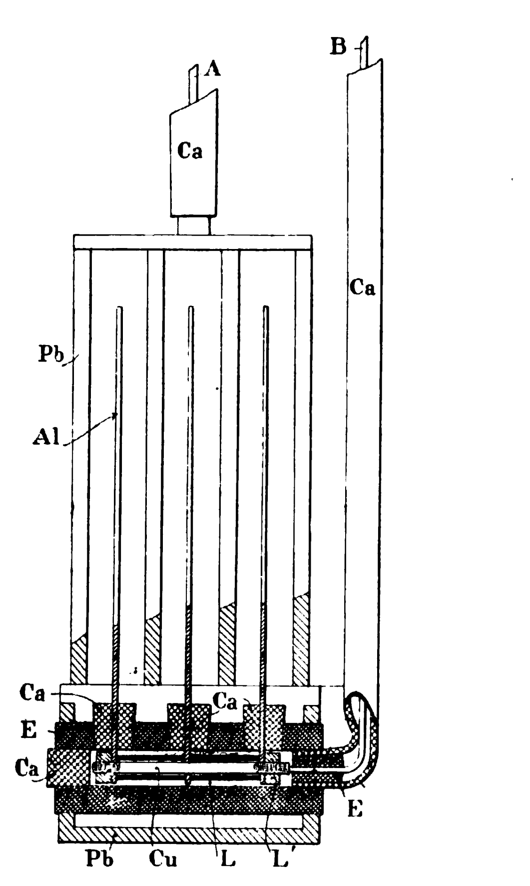
En 1891, MM. Hutin et Leblanc, dans leur « Etude sur les courants alternatifs et leurs applications industrielles » montrèrent le rôle important que pouvaient remplir ces clapets ou soupapes électrolytiques dans les distributions par courants alternatifs.

Enfin des recherches expérimentales furent entreprises peu d'années après, d'une part par M. Pollak, d'autre part par M. Greatz ; le premier fit connaître ses premiers résultats dans des brevets pris en 1895 et dans une communication à la séance de l'Académie des sciences du 2 juin 1897 ; le second, dans un mémoire présenté au Congrès de Munich de 1897 de la Société allemande d'électrochimie.

**

parler des travaux récents exécutés par M. Pollak au laboratoire des recherches de la Sorbonne et dont les résultats permettent dès maintenant d'entrevoir l'application industrielle des soupapes électrolytiques à la transformation des courants alternatifs en courants de même sens.

I. Description des soupapes Pollak. — La disposition à laquelle s'est arrêté M. Pollak est représentée par les figures 1 et 2 qui donnent une coupe de l'appareil ; la figure 3 montre une vue de quatre soupapes.



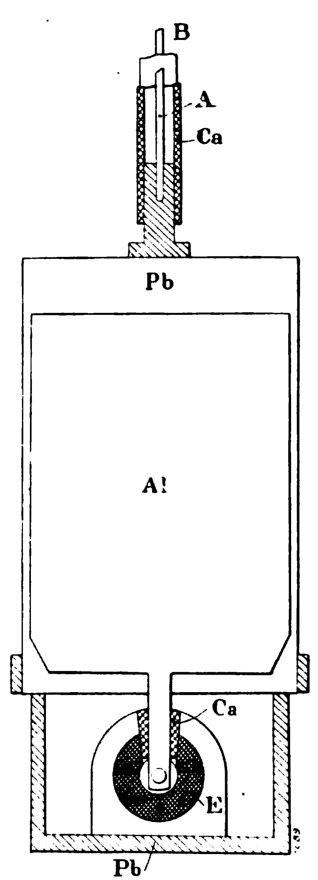


Fig. 1 et 2.

Chacune d'elles se compose de trois lames d'aluminium Al et de quatre lames de plomb Pb disposées à la partie inférieure d'un récipient de verre contenant une solution légèrement acide de phosphate de potassium ; les lames d'aluminium ont 65 mm de large sur 110 mm de hauteur ; les lames de plomb sont un peu plus larges et plus hautes.

Le choix de l'électrolyte a une grande importance. En employant comme Buff, Ducretet et Graetz, des solutions aqueuses d'acide sulfurique, la différence de potentiel maximum que l'on peut appliquer entre les deux électrodes sans passage de courant (la lame d'aluminium étant anode) ne dépasse guère 20 volts. L'emploi des sels alcalins permet de porter cette différence de potentiel à 140 volts, comme l'a reconnu M. Pollak dès 1896, et même à 200 volts, si l'on a soin de faire subir à la plaque d'aluminium une préparation préliminaire. D'ailleurs, tous les sels alcalins ne conviennent pas également et parmi les phosphates, le

phosphate de potassium a donné de meilleurs résultats que le phosphate de sodium, et celui-ci de bien meilleurs que le phosphate d'ammonium [1].

Quant à la préparation préliminaire de la lame d'aluminium, la formation de cette plaque, comme l'appelle M. Pollak, elle consiste à laisser la plaque pendant plus ou moins longtemps dans une solution faiblement concentrée de soude caustique, puis à la plonger en face d'une plaque de plomb dans une solution légèrement acide de phosphate de potassium et à la relier au pôle positif d'une source à courant continu permettant d'élever gra-

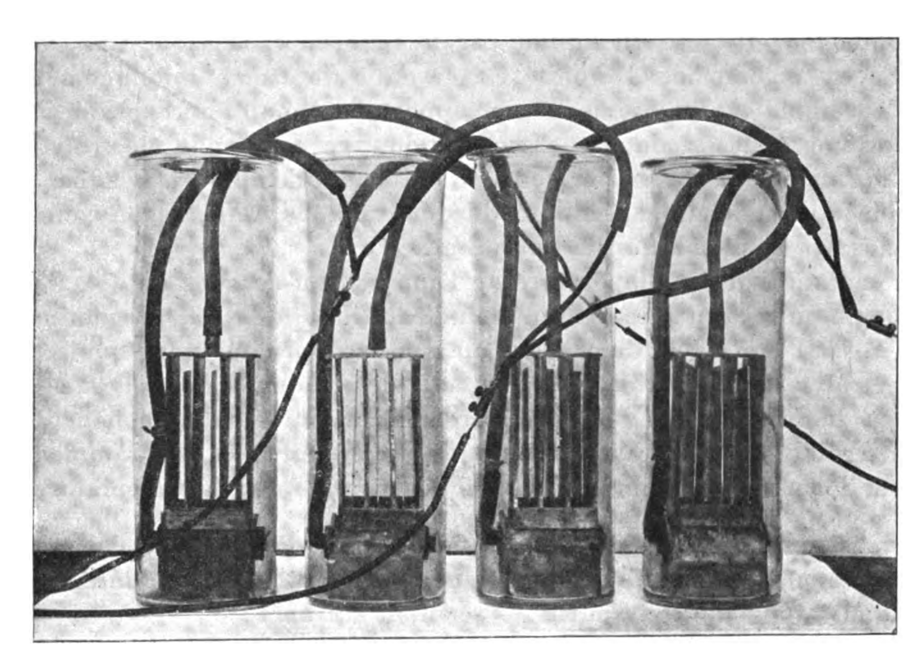


Fig. 3.

duellement jusqu'à 200 volts la différence de potentiel entre les deux lames. La première opération enlève les taches de graisse et les paillettes métalliques qui peuvent s'être incrustées dans la lame pendant le laminage ; elle réduit son épaisseur primitive de 1 mm environ à 0,75 mm. Pendant la formation, la plaque purifiée devient irisée, tandis que les impuretés, si elles sont de peu d'étendue, se trouvent recouvertes complètement par des espèces de croûtes d'aspect terne formées par des composés d'aluminium.

Malgré cette formation, les plaques seraient assez rapidement détruites par le fonctionnement si on ne prenait, dans leur montage et leur disposition, trois précautions essentielles : disposer la lame d'aluminium entièrement au-dessous de la surface de séparation

---

(1) Suivant M. Pollak, l'emploi des sels alcalins est indispensable lorsque le nombre des alternances du courant devient de l'ordre de grandeur de celui adopté par l'industrie (80 alternances par seconde). Avec de tels courants, la couche isolante (constituée probablement par un sous-oxyde d'aluminium), doit être réduite très rapidement lorsque, le courant changeant de sens, la lame d'aluminium devient cathode, et il semble que les ions K ou Na puissent produire cette réduction plus rapidement que les ions H mis en liberté dans le cas d'une solution aqueuse d'acide sulfurique.

L'obtention de meilleurs résultats avec le phosphate de potassium qu'avec le phosphate de sodium tient à ce que ce dernier sel détériore plus rapidement les plaques d'aluminium.

Quant au phosphate d'ammonium, il a l'inconvénient (comme les autres sels ammoniacaux) de donner lieu à la formation de gaz ammoniac qui s'échappe peu à peu de l'électrolyte, de sorte qu'au bout d'un temps relativement court il est indispensable soit de changer l'électrolyte, soit d'y remplacer le gaz ammoniac dégagé, ce qui constitue une opération délicate, le remplacement ne pouvant se faire par une addition d'une solution ammoniacale aqueuse qui aurait l'inconvénient de diluer l'électrolyte.

de l'air et de l'électrolyte ; éviter tout contact, au sein de l'électrolyte, de l'aluminium avec toute autre matière que le caoutchouc ; enfin, ne pas leur laisser prendre une température supérieure à 40°.

Les deux premières conditions sont réalisées par le montage indiqué en coupe sur la figure 1. Les plaques d'aluminium, de forme rectangulaire, sont prolongées inférieurement par des queues de 1 cm de large environ, engagées dans les bouchons de caoutchouc Ca, fixés eux-mêmes dans des tubulures d'un cylindre en ébonite E ; une tige de cuivre Cu, entourée de deux cylindres en laiton L et munie d'écrous L', réunit les extrémités des queues au conducteur B isolé du liquide par le tube en caoutchouc Ca. Un bouchon de caoutchouc Ca et un bouchon d'ébonite E servent à obturer hermétiquement le cylindre d'ébonite. L'ensemble est maintenu par un support en plomb Pb reposant sur le fond du vase. De la sorte on évite le contact des connexions avec le liquide électrolytique. Le seul inconvénient du dispositif est de permettre difficilement l'emploi de plaques d'aluminium de trop grandes dimensions sans crainte de déformations amenant un contact entre ces plaques et les lames de plomb qui les entourent.

Quant au maintien de la température de l'appareil au-dessous de 40°, il pourrait être facilement obtenu au moyen d'une circulation d'eau froide dans un serpentin plongé dans l'électrolyte. Mais si l'on a soin de prendre un vase assez profond pour que la hauteur de la colonne d'électrolyte soit environ trois fois celle des plaques, point n'est besoin de cette complication : le liquide échauffé inférieurement par le fonctionnement de l'appareil, s'élève et se refroidit, tant par rayonnement que par évaporation, suffisamment pour qu'on puisse utiliser l'appareil pendant quatre heures sans atteindre la température critique [1].

II. Résultats des essais. — Les essais faits par M. Pollak, jusqu'en 1895 dans son usine d'accumulateurs de Francfort-sur-Mein et pendant ces deux dernières années au laboratoire de M. Lippmann, ont fourni les résultats suivants :

1° *Usure et durée des plaques.* — Lorsque l'appareil ne fonctionne pas, les plaques se dissolvent peu à peu dans l'électrolyte. Pour éviter cet inconvénient, il convient donc de

---

[1] Le tableau suivant donne les résultats des mesures de température et de densité faites à la Sorbonne sur l'appareil représenté par la figure 3 et fonctionnant avec une densité de courant de 1 ampère par dm^2 de la surface totale des plaques d'aluminium.

HEURE	TEMPÉRATURE en degrés centigrades.	DENSITÉ	AMPÈRES	VOLTS
2 h. 15	+ 15,6	1,049	4,5	143,5
3 h. 30	+ 20,5	1,0475	4	145,5
3 h. 50	+ 22,6	1,0455	5	149
4 h. 30	+ 27	1,045	5	150,5
5 h.	+ 28,8	1,044	5,5	154
5 h. 15	+ 29,7	1,043	5,2	152,5
5 h. 30	+ 31	1,043	5,3	153
5 h. 45	+ 31,8	1,0425	5,5	154
6 h.	+ 32,6	1,042	5,8	156
6 h. 15	+ 33	1,042	5,9	157

Le courant alternatif utilisé était fourni par le secteur de la Rive Gauche (110 volts, 42 périodes); le courant redressé servait à la charge d'une batterie de 75 accumulateurs. La tension du courant alternatif n'a pas été relevée d'une manière continue pendant les expériences ; toutefois on peut affirmer que les variations irrégulières de l'intensité et de la tension dans le circuit du courant redressé résultent de variations de la tension à l'usine génératrice.



vider les vases dès que l'appareil cesse de fonctionner. Les plaques peuvent alors se conserver indéfiniment.

Lorsque l'appareil fonctionne, l'usure se manifeste, d'une part, dans l'électrolyte qui devient de plus en plus alcalin, d'autre part, sur les plaques qui se sillonnent de stries et de raies produites mécaniquement par les bulles d'hydrogène, qui, en se dégageant, entraînent des parcelles de la couche isolante. L'alcalinité de l'électrolyte est combattue au moyen d'additions d'acide phosphorique. Quant à l'usure des plaques, elle est assez lente ; les plaques peuvent servir de 500 à 800 heures avant que les stries soient assez profondes pour les mettre hors d'usage. Dans ces conditions, les frais d'entretien ne dépassent pas un demi-centime par kilowatt-heure pour un ensemble de quatre groupes de soupapes.

2. *Montage en série.* — On pourrait croire que, bien qu'un seul élément ne puisse supporter plus de 200 volts, il soit possible de redresser directement des courants alternatifs de tensions plus élevées en disposant un nombre suffisant d'appareils en série. En réalité, il a été démontré expérimentalement que ce mode de montage ne peut guère être utilisé : au bout de peu de temps, la différence de potentiel entre les bornes d'un élément baisse pour quelques-uns et s'élève d'autant pour les autres jusqu'à ce qu'elle devienne suffisante pour percer la couche isolante ; le courant passe alors dans les deux sens.

Ce résultat peut s'expliquer ainsi : par suite d'une action chimique de l'électrolyte sur la couche isolante, celle-ci tend constamment à disparaître et pour la maintenir un faible courant (quelques milliampères) traverse l'appareil quand il agit comme clapet fermé ; or, l'intensité de ce courant varie du simple au double d'un élément à l'autre, et quand deux éléments sont en série, l'intensité du courant qui traverse l'ensemble ne peut être que la plus petite des deux valeurs correspondant à chaque élément ; la couche isolante ne pourra donc se maintenir dans l'élément qui exige pour ce maintien le plus fort courant.

Cette explication fournit, il est vrai, un moyen de remédier à l'inconvénient signalé : il suffit de mettre en dérivation sur les appareils à faible courant d'entretien, des résistances convenablement choisies de manière à ce que l'ensemble se trouve traversé par un courant ayant l'intensité maximum requise par l'un des éléments.

3. *Rendement.* — Comme toute espèce de transformation, le redressement des courants alternatifs au moyen des soupapes est accompagné d'une perte d'énergie. Cette perte provient, d'une part, de l'existence du courant maintenant la couche diélectrique, d'autre part, de l'effet Joule des courants alternatifs ou redressés traversant l'appareil.

La mesure du rendement est très délicate. Les instruments de mesure à courant continu ne peuvent en effet donner d'indications exactes pour le courant redressé fourni par l'appareil ; les instruments à courants alternatifs ne conviennent pas mieux, leurs indications dépendant de la forme des ondes ; les appareils thermiques donneraient de meilleures lectures, mais comme leurs indications sont indépendantes du sens du courant, ils fourniraient une valeur trop élevée pour le rendement dans le cas où la soupape n'arrêterait pas, comme elle le devrait, les courants d'un certain sens [1].

---

[1] Un essai fait avec l'ondographe de M. Hospitalier sur un groupe de quatre soupapes Pollak fonctionnant sur un rhéostat a montré que le courant ne change pas de sens dans le circuit d'utilisation. Un accident survenu à l'ondographe n'a pas permis de s'assurer qu'il en est encore ainsi quand le courant redressé est utilisé à la charge d'accumulateurs ou à l'alimentation d'un moteur, en d'autres termes, quand le circuit d'utilisation présente une force contre-électromotrice.

Faisons observer que l'ondographe, en permettant de prendre la courbe de la puissance fournie par le courant alternatif lancé dans l'appareil redresseur ainsi que la courbe de la puissance du courant redressé, fournirait les données nécessaires à la détermination exacte du rendement.



M. Pollak a pu cependant mesurer indirectement ce rendement pour un appareil à quatre soupapes montées comme il sera expliqué plus loin, et chargeant une batterie d'accumulateurs. Il mesurait l'énergie fournie à l'appareil redresseur pendant la durée de la charge, puis l'énergie que l'on pouvait récupérer par la décharge de la batterie ; le rapport des deux nombres trouvés donnait le produit du rendement de l'appareil redresseur par le rendement de la batterie ; ce dernier rendement étant évalué à part, le rendement de l'appareil redresseur se trouvait déterminé.

Il a trouvé ainsi que l'appareil à quatre soupapes a un rendement de 75 à 80 p. 100 dans le cas d'un courant d'alimentation de 1 ampère par dm^2 de surface de plaque d'aluminium, une tension de 110 volts et une fréquence de 42.

Il a également reconnu que ce rendement augmente lorsque la fréquence du courant diminue et aussi lorsque la différence de potentiel alternative aux bornes de l'appareil croît.

III. Applications. — Dans l'article auquel nous référions plus haut, nous avons indiqué d'après les publications de MM. Ducretet, Hutin et Leblanc, Pollak, Graetz, les diverses applications auxquelles peuvent se prêter les soupapes électrolytiques. La plus importante et la seule sur laquelle il y ait lieu de revenir est le redressement des courants alternatifs (1).

Pour effectuer ce redressement et utiliser l'onde entière d'un courant alternatif simple, il est indispensable d'employer quatre soupapes (2).

Celles-ci sont placées de manière à former les quatre branches d'un pont de Wheatstone, deux sommets de ce pont sont reliés aux conducteurs d'alimentation, les deux autres sommets forment les extrémités du circuit d'alimentation ; on les dispose de façon que les deux soupapes reliées à un même conducteur d'alimentation y soient connectées l'une par la lame d'aluminium, l'autre par la lame de plomb, tandis que deux soupapes reliées à une même extrémité du circuit d'utilisation s'y trouvent connectées par leurs lames de même nature ; c'est le mode de montage des quatre soupapes représentées en figure 3.

On voit facilement que, dans ces conditions, le circuit d'utilisation est parcouru par des courants de même sens dont l'intensité croît depuis zéro jusqu'à un maximum pour retomber ensuite à zéro, le maximum se produisant au moment où le courant alternatif d'alimentation passe lui-même par un maximum positif ou négatif. Ces courants se succèdent sans interruption lorsque le circuit d'utilisation ne contient aucun appareil dont le fonctionnement

(1) Rappelons cependant que les autres applications sont :

1° Utilisation des soupapes comme appareil de sûreté dans la charge des accumulateurs par une dynamo afin d'éviter la décharge des accumulateurs sur la génératrice quand la force électromotrice de celle-ci n'est plus suffisamment élevée. Dans ce cas, il suffit d'une seule soupape placée sur l'un des conducteurs reliant la dynamo à la batterie, la lame d'aluminium étant disposée par rapport à la lame de plomb, dans le sens normal du courant qui traverse ce conducteur;

2° Utilisation comme sélecteurs dans un conducteur traversé par des courants circulant tantôt dans un sens, tantôt dans le sens opposé. Il faut alors bifurquer le conducteur en deux autres aboutissant respectivement l'un à la lame d'aluminium d'une soupape, l'autre à la lame de plomb d'une seconde soupape ; au delà de ces soupapes ne passent, dans chaque circuit, que des courants d'un même sens;

3° Utilisation comme condensateurs. Cette application ne pourrait s'effectuer que sur les circuits à courants alternatifs, car les soupapes ne conservent leur charge, sans doute à cause d'une réaction chimique de l'électrolyte sur la couche isolante, que pendant une fraction de seconde. Il est vrai que c'est précisément sur les réseaux à courants alternatifs que l'emploi des condensateurs serait surtout avantageux.

(2) Avec une seule soupape disposée sur le circuit on obtient bien, au delà de la soupape, rien que des courants de même sens, mais ces courants sont discontinus et une demi-onde seulement est utilisée par période. Avec deux soupapes placées en dérivation et convenablement orientées, on utilise l'onde entière ; mais dans chacun des circuits les courants sont encore discontinus (voir les figures 1 et 2 de la page 297 du numéro du 12 février 1898, qui correspondent à ces deux montages).



donne lieu à une force contre-électromotrice ; dans le cas contraire, ils sont séparés par des intervalles d'autant plus longs que la force contre-électromotrice est plus voisine de la différence de potentiel maximum du courant d'alimentation, mais ces intervalles sont nécessairement toujours inférieurs à une demi-période de ce dernier courant.

Au point de vue de la durée des soupapes ce dernier cas est, d'après les essais de M. Pollak, le plus avantageux : les lames d'aluminium résistent plus longtemps dans ces conditions que lorsque le circuit d'utilisation ne présentant pas de force contre-électromotrice, le courant circule constamment. Aussi M. Pollak préconise-t-il l'emploi de ses redresseurs électrolytiques pour la charge des accumulateurs, l'éclairage par arc, l'alimentation des moteurs ; ce sont d'ailleurs précisément les applications où il y a nécessité ou économie ou seulement commodité à substituer des courants continus aux courants alternatifs.

Pour l'éclairage à arc et l'alimentation des moteurs un inconvénient cependant est à craindre. Les courant fournis par les redresseurs électrolytiques n'ayant pas une intensité constante, il se pourrait que des effets de self-induction gênassent le réglage des lampes ou que des phénomènes d'hystérésis magnétique produisissent un échauffement exagéré des noyaux polaires des moteurs si l'on n'a pas soin de constituer ces noyaux en fer lamellé. Quelques essais faits à Francfort par M. Pollak ont montré qu'avec certaines lampes le réglage se fait très bien et que dans le cas des moteurs il suffit, pour éviter l'inconvénient signalé, de les exciter en dérivation, car alors le moteur fournit lui-même du courant au circuit d'excitation quand le courant d'alimentation est nul, de sorte que pratiquement le courant d'excitation varie très peu (1).

Quant à l'utilisation à la charge des accumulateurs elle ne présente aucune difficulté. Dans tous les essais faits par M. Pollak au laboratoire de M. Lippmann, le groupe de quatre soupapes décrit plus haut était employé à charger une batterie de 75 éléments, le courant d'alimentation étant pris sur le secteur de la Rive Gauche (2) ; toujours la charge s'est effectuée dans d'aussi bonnes conditions que lorsqu'on emploie un courant continu.

Cette utilisation peut donner lieu à diverses applications. Non seulement elle permettrait d'effectuer facilement et sans grands frais d'installation la charge des batteries d'automobiles dans les quartiers desservis uniquement par des réseaux à courants alternatifs, mais elle permettrait également la charge pendant le jour de batteries stationnaires assurant le soir l'éclairage des grands cafés, restaurants et hôtels, ou même d'un îlot de maisons ; les secteurs à courants alternatifs pourraient donc trouver ainsi une utilisation diurne de leur matériel générateur et réaliser par suite un bénéfice appréciable malgré le prix peu élevé auquel ils devraient consentir la vente de l'énergie électrique pour ce genre d'applications.

Une autre application spécialement étudiée par M. Pollak et pour laquelle il a pris un brevet (3) est la traction sur longues voies ferrées. Dans ce cas, en effet, la transmission de

---

(1) En redressant des courants triphasés au moyen de six soupapes convenablement disposées, on éliminerait presque entièrement cet obstacle, car la superposition des courants provenant des trois phases donnerait lieu à un courant dont l'intensité présenterait d'assez faibles variations.

Il est vrai que si l'on dispose de courants triphasés, il n'y a aucun intérêt à effectuer leur redressement pour l'alimentation de moteurs, la mise en marche des moteurs triphasés ne présentant pas plus de difficulté que les moteurs à courant continu. Il ne resterait dès lors que l'éclairage par arc comme application possible des redresseurs électrolytiques.

(2) A la dernière séance de la Société des Électriciens pendant laquelle cet appareil a été présenté, cette application a été montrée en employant les courants redressés à la charge de 70 éléments d'accumulateurs pris sur les batteries de deux automobiles électriques que leur constructeur, M. Contal, avait eu la complaisance d'amener ; l'intensité du courant fourni par l'appareil était de 6 ampères.

(3) Brevet anglais, n° 14058, déposé le 25 juin 1898, accepté le 6 mai 1899.

l'énergie par courants alternatifs à haute tension se trouve imposée par la grande longueur supposée de la ligne et, d'autre part, l'emploi du courant continu pour l'alimentation des moteurs est considéré jusqu'ici comme presque absolument indispensable pour diverses raisons bien connues qu'il est inutile d'énumérer. Les redresseurs fournissent une solution élégante répondant à cette double condition : la ligne est alimentée par des conrants alternatifs à tension aussi élevée que le permettent les règlements de sécurité ; sur chaque voiture est disposé un transformateur qui abaisse cette tension à la valeur la plus convenable (¹) et dont le secondaire est connecté à un groupe redresseur de quatre soupapes électrolytiques ; une batterie d'accumulateurs de faible capacité placée en dérivation sur le moteur, termine l'équipement complémentaire de la voiture.

M. Pollak entrevoit même la possibilité d'utiliser ses redresseurs électrolytiques dans les sous-stations, aujourd'hui assez nombreuses, où s'effectue la transformation des courants alternatifs de haute tension en courants continus de basse tension. Il ne conseille pas cependant la substitution de ses redresseurs aux groupes rotatifs actuellement employés, le rendement des premiers étant trop faible, du moins jusqu'ici, pour que la substitution soit économique. Mais il estime qu'il serait avantageux de n'installer dans ces sous-stations que le nombre de groupes rotatifs strictement indispensables pour assurer le service courant et de remplacer les groupes de secours ne devant servir qu'en cas d'avaries aux premiers par des batteries de soupapes électrolytiques. Le prix relativement peu élevé de ces derniers appareils, la possibilité de les conserver presque indéfiniment sans aucun frais d'entretien tant que les lames d'aluminium ne sont pas plongées dans l'électrolyte permettrait, à son avis, de réaliser une diminution suffisamment importante dans les frais de premier établissement et d'entretien pour que, malgré l'élévation de la dépense d'énergie pendant le fonctionnement occasionnel des redresseurs, il y ait néanmoins intérêt à les employer.

L'avenir nous apprendra jusqu'à quel point ces prévisions sont fondées. Quoi qu'il en soit M. Pollak aura eu le mérite de mener jusqu'à l'application industrielle une expérience de laboratoire.

J. BLONDIN.

SUR LE NOUVEL ACCUMULATEUR EDISON

Dans un précédent numéro de ce journal (²) il a été décrit un accumulateur breveté par Edison et basé sur l'emploi du couple cadmium-potasse-oxydule de cuivre. Ce qui caractérise cet élément et le distingue de l'accumulateur alcalin bien connu, au zinc, c'est d'abord l'insolubilité dans la lessive alcaline de l'oxydule de cadmium formé pendant la décharge; c'est ensuite le procédé spécial de fabrication du cuivre réduit très divisé, de façon à ne produire pendant la charge que l'oxydule de cuivre insoluble et pas d'hydrate d'oxyde de

(¹) La valeur de la différence de potentiel alternative appliquée aux bornes des redresseurs n'est pas en effet indifférente, puisque nous avons dit que le rendement de ces appareils augmente avec cette valeur. Il convient donc de la prendre telle que sa valeur maximum pendant la durée d'une période soit égale à celle que peuvent supporter les soupapes sans crever. Cette dernière étant actuellement de 200 volts, la différence de potentiel efficace la plus avantageuse, dans l'hypothèse d'ondes sinusoïdales, est donc de $200 : \sqrt{2}$, soit 140 volts environ.

Dans le cas où le courant d'alimentation est fourni par un circuit à 110 volts efficaces, il y aurait par conséquent intérêt à employer un transformateur élévateur amenant à 140 volts la tension alternative aux bornes des redresseurs.

(²) *L'Éclairage Électrique*, t. XXVII, p. 373, 8 juin 1901.



cuivre dont la solubilité dans la lessive alcaline est la cause de troubles importants : dépôt électrolytique de cuivre au pôle négatif, actions locales, destruction rapide de l'élément.

Dans un brevet plus récent (1), Edison revendique l'emploi du couple fer-potasse-oxyde supérieur de nickel ou de cobalt qui jouit des mêmes propriétés que le précédent et possède une force électromotrice plus élevée (2). La forme des supports de ces plaques est représentée par les figures 1 à 4: 1 est une vue en élévation; 2 une coupe verticale selon la ligne ponctuée ; 3 est une vue en plan de l'assemblage de deux plaques; et 4 une coupe agrandie d'une plaque.

Chaque plaque comporte deux parois 1 et 2 en tôle de nickel très mince (par exemple 0,125 mm) réunies par des rivets de nickel au cadre 3 et aux montants verticaux 4, 4. Dans les parois 1 et 2 sont pratiqués de petits trous espacés entre eux de 0,75 mm environ et de telle façon que le métal estampé reste à l'intérieur; il en résulte alors une augmentation dela surface de contact entre le support et la matière active. Les plaques portent en outre des pièces de séparation 5,5 qui empêchent leur contact. Le nickel peut être remplacé dans cette fabrication par le fer nickelé et le cadre 3,4 par une matière non attaquable, comme l'ébonite, par exemple.

Fig. 1 à 4.

Pour constituer la matière active négative, on opère de la façon suivante : 8 parties de monosulfure de fer très finement pulvérisé et dont les particules ont traversé un crible possédant 6,4 trous par mm² sont mélangées intimement avec deux parties de graphite en poudre dont les particules sont un peu plus grosses que les ouvertures des plaques. Le mélange est humecté avec de la lessive de potasse à 20 p. 100 puis bourré dans les poches des plaques. On place ensuite une couche de fils d'amiante 6 de 6 mm d'épaisseur; celle-ci est recouverte par une bande 7 en tôle de nickel maintenue solidement par un fil de nickel 8 (fig. 2 et 4).

La plaque ainsi constituée est oxydée électrolytiquement dans la potasse; le soufre libre se dissout dans l'alcali, et il se forme de l'hydraoxyde de fer. On facilite le départ du soufre en renversant alternativement le sens du courant. L'électrode est finalement réduite en fer métallique. Pendant la formation de l'oxyde de fer, il se produit une très forte augmentation de volume de sorte qu'une pression considérable est exercée sur les parois de la plaque.

Le monosulfure de fer a été choisi pour obtenir la plus grande masse possible d'oxyde

(1) Brevet anglais, 2490, du 5 février 1901. Brevet français, n° 307 864 du 5 février 1901.

(2) D'après le Dr Rudolph Gahl, la différence de potentiel moyenne à la décharge ne serait que 0,35 volt environ pour la décharge en 7 heures d'un accumulateur au cadmium. Comme pendant la charge la tension moyenne atteint 0,7 à 0,8 volt le rendement en énergie du couple est inférieur à 50 p. 100. Pour l'accumulateur fer-nickel nous n'avons pas encore de chiffres relatifs à la tension de charge ; mais nous serions très peu surpris qu'ici aussi elle soit telle que le rendement en énergie soit inférieur à celui de l'accumulateur au plomb.

***

dans le plus petit espace et aussi dans le but d'avoir un corps facilement réductible électrolytiquement. Or, les oxydes de fer secs ne possèdent pas cette dernière propriété; les hydrates, qui sont très volumineux, sont difficiles à utiliser et de plus ils se réduisent très peu. D'autre part, le fer spongieux obtenu par réduction par l'hydrogène est peu oxydable par le courant.

La seule façon qu'Edison ait trouvée de produire un oxyde de fer complètement réductible par le courant est celle décrite ci-dessus. Le monohydrate qu'on obtient par une ébullition de plusieurs heures de l'hydroxyde ordinaire dans l'eau est bien également réductible; mais il est tellement volumineux qu'on ne peut pas en introduire dans les plaques une aussi grande quantité que du précédent. Pendant la décharge, le fer s'oxyde et il ne se forme pas de ferrate soluble. Au pôle positif, les oxydes supérieurs de nickel et de cobalt donnent approximativement la même tension; mais le premier coûte moins cher.

Pour constituer l'anode, on part de l'hydrate d'oxyde de nickel précipité; on le sèche lentement à la température ordinaire et on le pulvérise de façon à le faire passer au crible de 6,4 mailles environ par mm^2; 7 parties de cette poudre sont alors mélangées à 3 parties de graphite; le tout humecté d'eau est tassé successivement en petites quantités dans les poches des plaques. Finalement, on recouvre avec de l'amiante et de la tôle de nickel comme pour les négatives, et les plaques ainsi obtenues sont oxydées électrolytiquement dans la potasse, avec une densité de courant de 0,008 ampère par cm^2. Le graphite est ici nécessaire pour obtenir une bonne formation dans toute la masse. On n'y parvient pas sans cette précaution, quoique les oxydes supérieurs de nickel et de cobalt paraissent être conducteurs. Les hydrates d'oxyde de nickel sont utilisés ici de préférence aux autres combinaisons de nickel [1] parce qu'ils sont faciles à fabriquer, qu'ils se gonflent par l'introduction du liquide dans les poches de sorte qu'on obtient un contact intime et une grande solidité. Enfin ils ne sont pas réductibles électrolytiquement en métal.

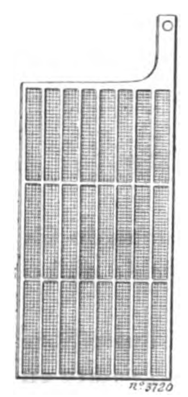


Fig. 5.

Nous trouvons à propos de ce nouvel accumulateur quelques renseignements intéressants qui ont été communiqués le 21 mai dernier à l'American Institute of Electrical Engineers par le Dr Arthur E. Kennelly [2].

La constitution des supports présentés ici diffère un peu de celle décrite dans le brevet précédent. La figure 5 montre l'aspect d'un tel quadrillage du type automobile; c'est une simple grille à alvéoles rectangulaires, en tôle d'acier nickelé de 0,61 mm d'épaisseur. Dans chacun de ces alvéoles on vient loger une briquette de matière active enfermée dans une boîte en tôle d'acier nickelé de 0,075 mm d'épaisseur, perforée d'un très grand nombre de petits trous qui laissent pénétrer l'électrolyte. La figure 6 montre une telle boîte et son couvercle, ainsi qu'une briquette de matière active au milieu. Après introduction de ces boîtes dans les alvéoles du quadrillage, on comprime le tout à la presse hydraulique sous une force de

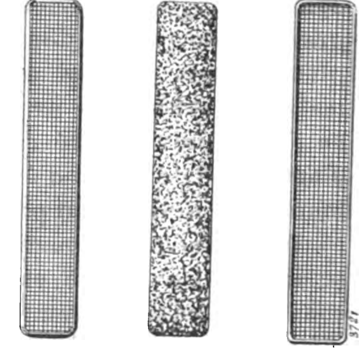


Fig. 6.

[1] De Michalowski, dans son brevet français 303 763, du 15 septembre 1900, préfère oxyder le nickel poreux qu'il obtient par voie électrolytique en déposant ce métal simultanément avec d'autres métaux comme le fer et le zinc qu'il élimine ensuite. Avec le zinc, il obtient une carcasse de nickel solide déposé primairement, mélangé de nickel poreux déposé secondairement par action locale du zinc sur la solution du sel de nickel.

[2] *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, t. XVIII, p. 331, 21 mai 1901.

100 tonnes. La plaque ainsi terminée a une épaisseur de 2,5 mm à l'endroit des boîtes et de 0,56 mm seulement sur la grille.

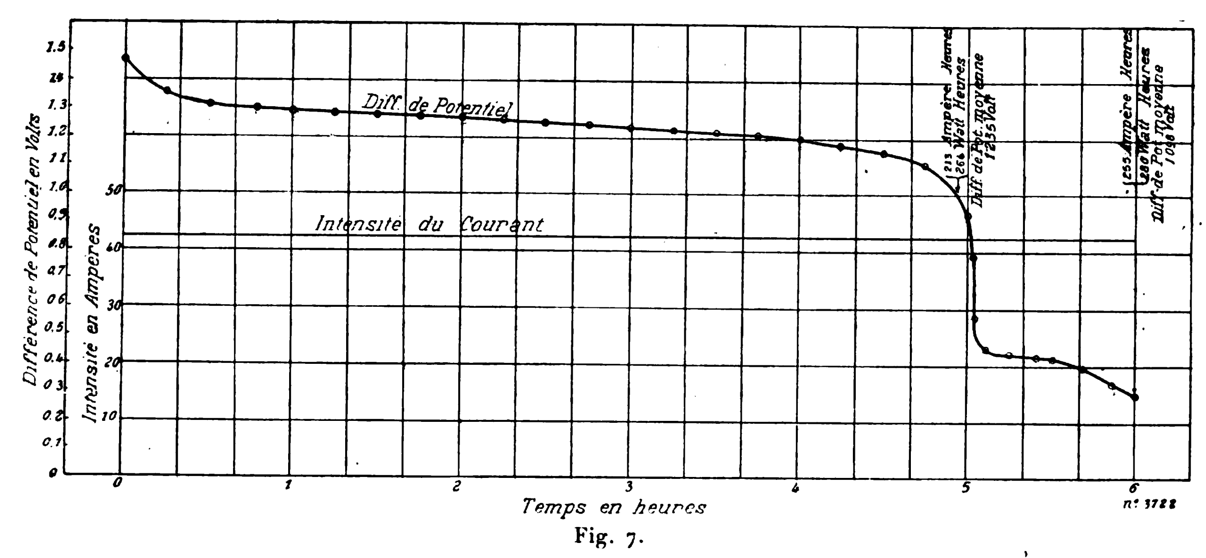


Fig. 7.

Le graphite employé ici est obtenu par un procédé chimique sous formes de lames très minces tamisées, comme il est exposé dans le brevet, de façon que leur surface soit plus grande que celle des perforations des boîtes.

Le mélange de matière active et de graphite est comprimé à une pression de 300 kg par cm² et moulé en briquettes de dimensions 75 × 12,5 mm en plan.

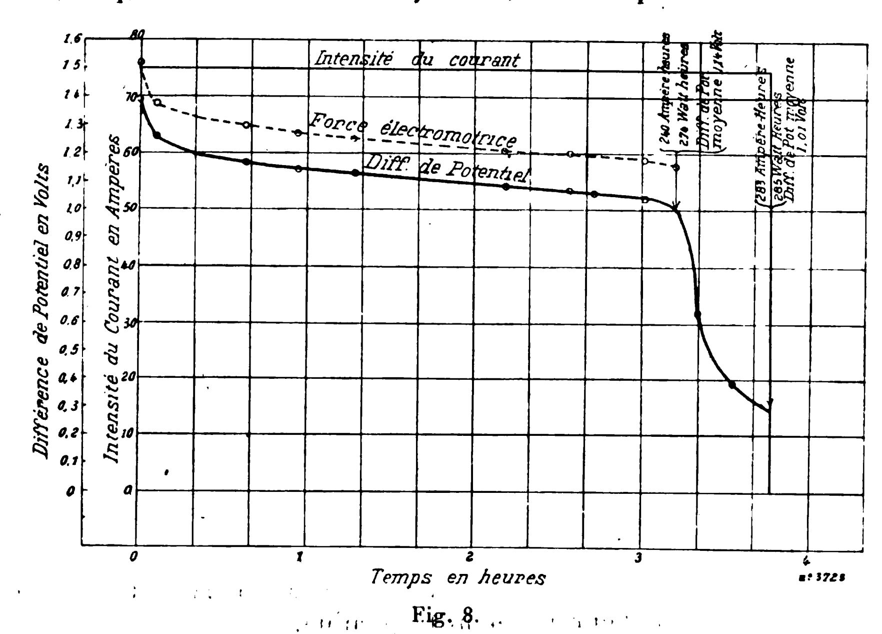


Fig. 8.

Le montage des plaques s'effectue dans un récipient en tôle d'acier qui contient, comme électrolyte, une solution de potasse à 20 p. 100. Entre les plaques, on place des séparateurs perforés, en ébonite. Les plaques de même polarité sont réunies entre elles par une soudure spéciale inattaquable par la solution employée.

Les figures 7 et 8 donnent les courbes de décharge à deux régimes différents pour un



élément de ce type d'une masse totale de 9 525 gr. On constate que la force électromotrice atteint 1,5 volt fin charge pour baisser rapidement d'abord, plus lentement ensuite. La différence de potentiel moyenne utile varie de 1,14 à 1,23 volt pour les régimes de 3 à 5 heures. Le crochet de la courbe se produit à 1,0 volt environ. La décharge qui se continue ensuite à une très faible différence de potentiel indique un changement dans l'action électrochimique. Le premier crochet doit être attribué à l'épuisement de la plaque de fer.

Comme énergies massiques, les chiffres annoncés par le conférencier sont :

30,85 watts-heure par kilogramme d'élément, au régime de puissance massique de 8,82 watts par kilogramme d'élément et 26,46 watts-heure par kilogramme d'élément, au régime de puissance massique de 26,46 watts par kilogramme d'élément.

Le premier régime correspondant à une densité de courant de 0,93 ampère par dm².

Cependant, si nous nous en rapportons aux courbes, nous trouvons des valeurs un peu plus faibles en limitant la décharge au crochet (seule décharge utile) soit à 1,0 volt environ.

Nous avons réuni ces valeurs dans le tableau suivant :

Durée de la décharge	4 h. 55′	3 h. 10′
Intensité massique, en amp : kg. d'élément	4,46	7,87
Capacité massique correspondante, en amp-heure : kg. d'élément	22,36	25,19
Différence de potentiel moyenne à la décharge, en volt	1,235	1,14
Puissance massique en watts : kg. d'élément	5,51	8,97
Energie massique correspondante en watts-heure : kg. d'élément	27,61	28,72

Ces chiffres présentent évidemment une anomalie puisque l'énergie massique est un peu plus élevée pour la décharge la plus rapide. Mais nous prendrons ici la valeur la plus favorable pour la comparer à celle obtenue avec l'accumulateur au plomb. Dans le tableau suivant, on trouvera résumées les principales caractéristiques des accumulateurs les plus légers construits jusqu'ici : Fulmen [1], B. G. S [2], Société pour le travail électrique des métaux [3] et Heinz [4].

	Fulmen		B. G. S.		Société pour le travail électrique des métaux.		Heinz	
Durée de la décharge en heures	5	3	5	3	5	3	5	3
Intensité massique, en amp : kg. d'élément	2,37	3,62	2,72	3,98	2,81	4,02	2,36	3,40
Capacité massique correspondante, en amp-heure : kg. d'élément	11,85	10,90	13,61	11,95	14,10	12,10	11,79	10,19
Différence de potentiel moyenne à la décharge, en volts	1,95	1,92	1,95	1,92	1,95	1,92	1,95	1,92
Puissance massique en watts : kg. d'élément	4,62	6,95	5,30	7,64	5,47	7,71	4,60	6,53
Energie massique correspondante en watts-heure : kg. d'élément	23,11	20,93	26,54	22,94	27,49	23,23	23,00	19,56

La comparaison de ces deux tableaux montre que l'énergie massique de l'accumulateur Edison n'est pas beaucoup supérieure à celle des éléments au plomb actuellement employés. Encore peut-on obtenir avec ceux-ci des valeurs plus élevées en faisant des plaques plus minces, mais dont la durée est malheureusement trop faible.

Même, en comparant les valeurs correspondantes de la capacité massique, on peut être étonné de ne pas trouver une différence plus grande. En effet, alors que dans l'accumula-

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXV, p. 142, 27 octobre 1900. — [2] *Id.*, t. XXV, p. 423, 15 décembre 1900. — [3] *Id.*, t. XXIV, p. 250, 18 août 1900. — [4] *Id.*, t. XXIV, p. 163, 4 août 1900.



teur au plomb, 1 ampère-heure engage 3,86 gr Pb et 4,46 gr PbO^2, soit en tout 8,32 gr de matière active, il ne doit engager dans l'élément Edison que 1,045 gr Fe et 1,685 gr NiO^2 (en admettant la formation de ce corps), soit en tout 2,73 gr seulement de matière active. Si on tient compte de la proportion de matière active par rapport au poids total de plaque, valeur qui d'après la description, doit être voisine de celle donnée par l'accumulateur léger au plomb; et si, d'autre part, on se rappelle que le coefficient d'accessoires (rapport entre le poids d'élément et le poids de plaques) doit être plus faible pour l'accumulateur Edison, par suite de la faible quantité nécessaire d'électrolyte, on peut en conclure que, dans ce dernier cas, le coefficient d'utilisation de la matière active (rapport entre la capacité obtenue et celle déduite théoriquement de la masse de matière active) doit être plus faible que celui de l'accumulateur léger au plomb. L'utilisation de la matière active de ce dernier varie d'ailleurs, comme on sait, avec les différents modes d'obtention de cette matière, avec l'épaisseur sous laquelle elle travaille et aussi avec la densité de courant, et il n'y a pas de doute que l'élément Edison doive être soumis aux mêmes règles. Cependant, si on en croit l'inventeur, il faudrait renoncer à une amélioration dans cette voie puisqu'il aurait découvert la seule façon de produire la matière active.

En ce qui concerne la durée du nouvel accumulateur, aucun renseignement ne permet d'affirmer *a priori* qu'elle soit supérieure à celle de l'accumulateur au plomb; il faut se contenter actuellement à ce sujet de l'affirmation de l'auteur. Il serait intéressant de savoir à ce point de vue si la capacité se maintient stable pendant toute la durée et s'il ne se produit pas un foisonnement de matière à un pôle et une contraction à l'autre, comme c'est le cas avec l'accumulateur au plomb.

L'inventeur donne aussi comme avantage le bon marché de l'accumulateur. Nous ne doutons pas qu'il puisse en effet y avoir un avantage économique, si la durée du nouvel élément est très grande. Mais il ne paraît pas douteux cependant que le prix d'achat des batteries de ce système soit plus élevé, à égalité d'énergie, que celui des batteries actuelles au plomb, par suite surtout du prix très élevé du nickel, et aussi de l'augmentation des accessoires due au plus grand nombre d'éléments pour une tension donnée.

Dans sa communication, le Dr Kennelly ne donne pas la théorie exacte du nouvel accumulateur Edison; cependant il admet comme probable la formule NiO^2 pour l'oxyde supérieur de nickel formé ici. Comme l'application de la loi de Thomson, en ne considérant que la chaleur d'oxydation du fer, donne pour la force électromotrice la valeur 1,47 volt, valeur voisine de la force électromotrice mesurée, il suppose que cet oxyde supérieur doit être bien près de la neutralité c'est-à-dire que la quantité de chaleur dégagée ou absorbée par sa formation doit être très faible. Nous remarquerons à ce propos que l'emploi d'un oxyde supérieur de nickel comme dépolarisant dans un accumulateur n'est pas nouveau (1). On a pu lire notamment dans ce journal (2) la description de l'accumulateur au sesquioxyde de nickel, de Titus Ritter von Michalowski. Mais ce dernier attribue la formule Ni^2O^3 à l'oxyde supérieur produit, qu'il considère comme une combinaison endothermique. Cependant ce corps est bien près de la neutralité si on s'en rapporte aux données thermochimiques de l'Annuaire du Bureau des Longitudes puisque la réaction $Ni + O = NiO$ dégage 61,4 calories, et que $Ni^2 + O^3 = Ni^2O^3$ dégage 122,2 calories. C'est d'ailleurs ce qui résulte

(1) Dans le brevet français nº 261 885, du 4 décembre 1896, Kriéger revendique l'emploi du sesquioxyde de nickel Ni^2O^3 comme dépolarisant, et il obtient comme force électromotrice du couple formé avec le zinc en solution alcaline, la valeur 1,82 volt.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 415, 17 mars 1900, et t. XXV, p. 45, 6 octobre 1900. De Michalowski, brevets français 290 481 du 3 juillet 1899 et 303 763 du 15 septembre 1900.



également de la force électromotrice 1,85 volt mesurée pour le couple de Michalowski, zinc-potasse-sesquioxyde de nickel, car l'application de la loi de Thomson donne une valeur très approchée, en ne considérant que la chaleur d'oxydation du zinc.

Y-a-t-il identité entre les deux oxydes supérieurs de nickel de ces deux éléments Edison et Michalowski, il nous semble qu'il doive en être ainsi, sinon de suite après la préparation de la matière active, préparation différente dans les deux cas, du moins après la charge. En tous cas, les propriétés thermochimiques paraissent bien semblables.

En résumé, l'intérêt de l'accumulateur Edison ne réside pas dans la découverte d'un nouveau couple, mais dans celle d'un procédé spécial d'obtention de matières que jusqu'ici on n'avait pu rendre suffisamment actives. C'est là certainement une solution très importante et qui n'était pas sans difficultés si on en juge par le nombre considérable d'expériences qui ont dû être effectuées, puisque pour le fer seul, le nombre de composés essayés a atteint plusieurs centaines. C'est aussi la voie ouverte aux expérimentateurs et l'indication qu'il ne faut pas désespérer de trouver un moyen de rendre actives des substances qui peuvent entrer dans la constitution d'accumulateurs nouveaux.

Quant à l'invariabilité de l'électrolyte, c'est évidemment une condition favorable de fonctionnement de l'élément Edison; mais comme le fait justement remarquer A. Delasalle, dans l'*Industrie Électrique* du 25 juin dernier, elle n'est pas nouvelle et on la trouve notamment dans l'accumulateur E. W. Jungner déjà décrit ici [1].

Ce qui nous paraît beaucoup plus important, c'est l'insolubilité des substances actives à la fin de la décharge comme à la fin de la charge. C'est là une des conditions indispensables pour rendre réellement industriels les accumulateurs à oxydes, car, d'une part, il ne doit pas y avoir électrolyse du métal du dépolarisant sur la plaque négative, et d'autre part lorsque le métal de la cathode peut se dissoudre à la fin de la décharge, il faut, pour régénérer celle-ci par la charge, employer les précautions d'usage dans les dépôts électrochimiques, précautions qui sont incompatibles avec les nécessités des charges industrielles.

Cette condition est réalisée au plus haut degré par les accumulateurs au plomb.

L. JUMAU.

COMPARAISON

ENTRE LA TRACTION ÉLECTRIQUE ET LA TRACTION À VAPEUR

La traction électrique sur de grandes lignes occupe depuis plusieurs années le public et les électriciens.

La question était à peine posée, le système de la traction qui aurait vaincu les difficultés techniques, tout en assurant une exploitation économique de la ligne, n'existait pas encore, que déjà des comparaisons étaient faites, entre la traction électrique et celle à vapeur.

Comme on ne connaissait guère que la traction électrique à courant continu, toutes les comparaisons se rapportent à ce système. Mais le courant continu se prête mal à la traction des lignes inter-urbaines, et jusqu'ici aucun système à courant continu n'a réussi à résoudre le problème. Aujourd'hui, où l'utilisation directe du courant triphasé à haute tension, suivant le système de M. Coloman de Kando [2] résout d'une manière satisfaisante la question, une nouvelle comparaison

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 389, 8 septembre 1900.

[2] Voir l'article de M. Coloman de Kando sur ce sujet dans *L'Éclairage Électrique*, du 11 mai 1901, t. XXVII, p. 212.



s'impose. C'est ce que nous nous proposons de faire dans le présent mémoire où nous envisagerons uniquement ce dernier mode de traction électrique et le comparerons à la traction à vapeur.

La substitution de la traction électrique à la traction à vapeur ne pouvant nécessairement se faire que progressivement, il faut, sur de longues lignes, conserver toutes les voitures existantes, et se borner au remplacement de la locomotive à vapeur actuelle par une locomotive électrique. Aussi nous envisagerons surtout l'examen de ce cas.

D'un autre côté, les avantages de la traction électrique sur la traction à vapeur sont tellement évidents dans le cas d'utilisation d'une source d'énergie naturelle que nous nous occuperons exclusivement de la traction électrique dans l'hypothèse où la force motrice est produite par des machines à vapeur.

I. Consommation de vapeur et de charbon. — La consommation de vapeur par cheval-heure effectif, mesuré sur la jante de la roue motrice d'une locomotive à vapeur ordinaire, est graphiquement indiquée par la figure 1. Toutefois les locomotives compound, de construction récente, travaillent plus avantageusement à cet égard : ainsi la locomotive compound à 4 cylindres du « Nord » français ne consomme que 8 kg de vapeur par cheval-heure effectif (1).

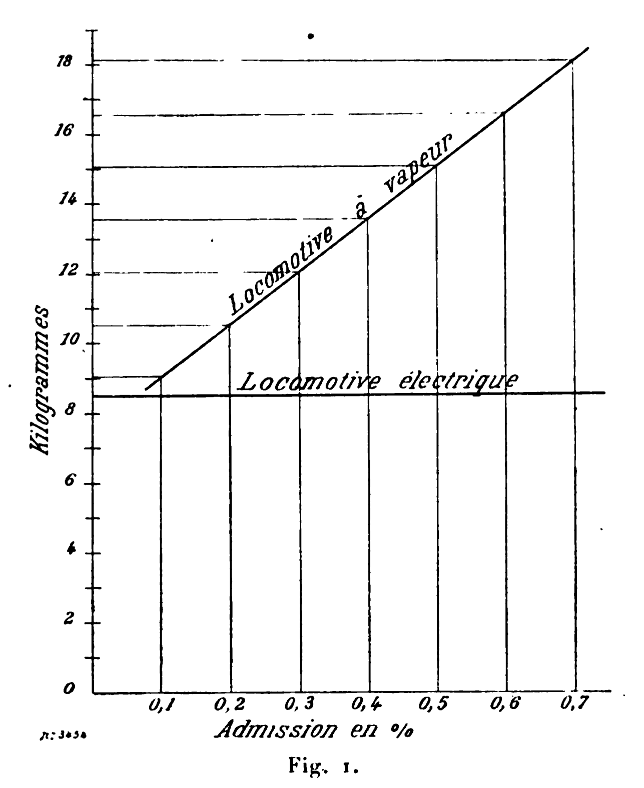


Fig. 1.

Nos grandes machines fixes, compound, qui travaillent par condensation et avec de la vapeur surchauffée, au-delà d'une puissance de 2 000 chevaux consomment 5,5 kg de vapeur sèche par cheval-heure effectif. Or, en tenant compte des pertes qui se produisent inévitablement dans le cas de la traction électrique, dans les dynamos génératrices, dans les conducteurs, les transformateurs et les moteurs, nous pouvons compter un rendement de 60 à 70 p. 100, de sorte qu'un cheval-heure effectif sur la jante de la locomotive électrique consomme de 5,5 : 0,6 à 5,5 : 0,7, soit 8 à 9 kg de vapeur sèche dans l'usine centrale. C'est à peu près le même chiffre que celui que nous venons d'indiquer pour les locomotives de la meilleure construction.

Cependant, il ne faut pas oublier que ce dernier chiffre se rapporte exclusivement aux meilleures locomotives connues, c'est-à-dire aux locomotives des trains express ou rapides. Les machines à allure plus lente exigent 50 p. 100 de plus de vapeur, à cause de l'admission plus grande dans leurs cylindres. Au contraire, les locomotives électriques consomment toujours la même quantité d'énergie spécifique, quelle que soit leur vitesse, ce qui revient à dire qu'une locomotive électrique d'un train de marchandises travaille aussi économiquement qu'une locomotive d'un train express.

Mais, même en admettant que la consommation de vapeur par cheval-heure effectif soit la même pour les locomotives à vapeur des trains de voyageurs que pour des locomotives électriques, la consommation de charbon est beaucoup plus faible pour ces dernières que pour les premières.

Tout mécanicien sait bien, en effet, que le rendement d'une chaudière d'une locomotive est beaucoup plus mauvais que celui des chaudières fixes. Tandis que 1 kg de charbon produit 5,46

(1) *Zeitschrift des « Vereines Deutscher Ingenieure »* 1899. Leitzmann : « Versuche mit viercylindringen Locomotiven. »

à 6,81 kg de vapeur dans la chaudière d'une locomotive, suivant que celle-ci est à allure lente (marchandises) ou à allure rapide (voyageurs), soit en moyenne 6,13 kg, la même masse du même charbon produit dans une chaudière fixe de bonne construction, à charge normale, 7,65 à 7,95 kg de vapeur, en moyenne 7,8 kg, et à charge un peu forcée, 6,88 à 7,95 kg, en moyenne 7,42 kg [1].

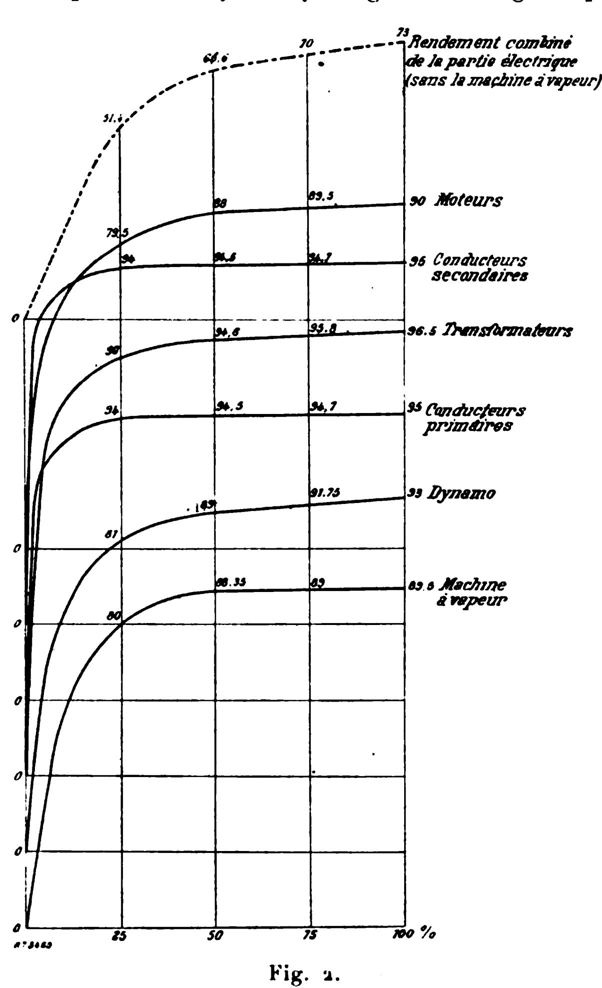


Fig. 2.

La différence est donc de 21 à 17 p. 100 en faveur des locomotives électriques, c'est-à-dire que pour remorquer un train rapide par une locomotive électrique, il ne faut que 79 à 83 p. 100 de la quantité de charbon nécessaire à la locomotive à vapeur remorquant un train du même poids.

La comparaison est encore plus avantageuse pour la traction électrique, si nous considérons une locomotive à allure lente. Outre la meilleure utilisation du charbon dans le foyer, nous avons encore une consommation de vapeur plus économique de 25 à 30 p. 100, en faveur de la traction électrique.

Un avantage considérable de la traction électrique se présente encore par le fait que les frais de la mise en marche sont incomparablement moins élevés que ceux des locomotives ordinaires. En effet, une chaudière fixe peut travailler plusieurs mois sans interruption, tandis qu'une locomotive à vapeur doit être chauffée préalablement presque toutes les fois qu'elle entre en service. En outre, les frais de la conservation de la pression de la vapeur dans la chaudière d'une locomotive entre deux services consécutifs, frais qui sont quelquefois très considérables, n'interviennent pas non plus dans le cas de la traction électrique, car la locomotive électrique ne consomme du courant qu'en travaillant et les frais de la conservation de la pression de la vapeur dans la station centrale sont négligeables, les pertes de chaleur étant beaucoup plus petites dans les chaudières fixes que dans les chaudières des locomotives mal protégées contre le rayonnement.

Il y a encore une différence considérable entre les deux méthodes de traction, en ce qui concerne la variation du rendement en fonction de la charge.

---

[1] Ce fait s'explique immédiatement, si nous examinons les conditions de la combustion du charbon dans les deux cas. Dans les chaudières fixes on brûle généralement 50, au maximum 100 kg de charbon par heure et mètre carré de grille. Dans les locomotives, par contre cette quantité monte à 350 et 500 kg. Il est évident que la combustion d'une quantité pareille exige un courant d'air tellement fort que les gaz s'échappent à une température très élevée ; et par conséquent le rendement se trouve considérablement abaissé.

Suivant les données du « Taschenbuch der Hütte » (Aide-mémoire de l'ingénieur) le rendement de la meilleure chaudière d'une locomotive est de 60 p. 100, celui d'une chaudière fixe de 78 p. 100. La différence est donc de 18 p. 100 ; c'est déjà un grand avantage, étant donné le prix élevé actuel du charbon. D'autre part, les chaudières fixes peuvent être alimentées sans inconvénient avec du charbon de qualité inférieure (déchets de charbon, du lignite, de la tourbe, etc.), tandis que les chaudières des locomotives exigent du charbon de la meilleure qualité ; d'où une nouvelle économie.

Le rendement d'une locomotive à vapeur est maximum lorsque la machine travaille à l'admission de vapeur modérée et avec un chauffage non forcé. Mais lorsque la vitesse dépasse une certaine limite, on est obligé de forcer le chauffage pour pouvoir produire la quantité nécessaire de vapeur. Mais alors le rendement de la chaudière diminue. De même, si nous augmentons le poids d'un train en conservant une vitesse médiocre, il faut augmenter l'admission de la vapeur dans les cylindres, ce qui diminue le rendement de la machine. Nous voyons donc qu'une locomotive à vapeur ne travaille qu'exceptionnellement avec un rendement combiné maximum, car, tantôt la machine, tantôt la chaudière travaillent dans des conditions non économiques.

La locomotive électrique est plus satisfaisante à cet égard. Ici, il nous faut considérer le rendement combiné de la machine à vapeur, de la dynamo génératrice, des conducteurs primaires et secondaires, des transformateurs et des moteurs. La figure 2 montre la variation de ces rendements en fonction de la charge. Les ordonnées représentent les rendements respectifs, les abscisses, la charge en p. 100. Le rendement combiné est le produit de tous les rendements. La courbe résultante montre que le rendement total est encore très bon à demi-charge et que la perte de 30 à 40 p. 100, admise précédemment, était plutôt exagérée. D'ailleurs, dans la pratique, il n'arrivera qu'exceptionnellement que la station centrale et la locomotive travaillent simultanément à demi-charge. Le service journalier d'une grande usine centrale, desservant une ligne étendue de chemin de fer, peut en effet être organisé, soit d'après les horaires établis, soit d'après les indications des stations principales dirigeant le service, fournies à l'usine quelques heures avant le départ des trains, de manière que le nombre des chaudières ou de machines en service corresponde à la charge prévue. D'un autre côté, les moteurs des locomotives peuvent être intercalés, ou mis hors circuit séparément, suivant les besoins : au démarrage, tous les moteurs travaillent simultanément, puis, la vitesse normale étant atteinte, le conducteur met hors circuit successivement quelques-uns d'entre eux. Les autres travaillent alors presque à pleine charge ; quant à ceux qui tournent à vide ils ne dépensent qu'une puissance négligeable, car ils sont directement couplés aux essieux, sans engrenages.

II. Poids des locomotives. — Comparons le poids d'une locomotive à vapeur, et celui d'une locomotive électrique à égalité de puissance.

D'abord la dernière n'exige aucun tender, ou récipient d'eau ou de charbon, ce qui donne lieu à un abaissement du poids mort de 20-50 p. 100, et par conséquent à une réduction importante des frais de la traction [1].

Mais, de plus, la locomotive électrique même est beaucoup plus légère que la locomotive à vapeur. La puissance de cette dernière étant limitée par le poids de vapeur produit dans l'unité de temps dans sa chaudière, une locomotive d'une grande puissance exige une chaudière à grande grille et grande surface de chauffe, dont le poids propre est généralement supérieur au poids correspondant à l'adhérence nécessaire, à tel point même que toutes les locomotives de grande puissance ont des essieux ou boggies porteurs, qui supportent le poids mort de la machine. La locomotive électrique, elle, ne porte que les moteurs et l'équipement électrique, dont le poids total,

---

[1] Nous avons déterminé, par un calcul approximatif le poids moyen d'un tender, supposant toujours le tender moitié chargé, pour une ligne hongroise de 360 km de longueur. Le poids propre du charbon et du récipient d'eau négligé. Le résultat moyen de ce calcul aux locomotives sans tender était de 20,1 tonnes par tender. Le nombre des locomotives-kilomètre, faits en 1898, était 4 217 000 ; le nombre des tender-kilomètres est évidemment le même. Par conséquent en comptant 20,1 tonne par tender, le nombre des tonne-kilomètres, inutilement faits par an, est de 84 761 700.

Les frais de traction sur la même ligne étaient dans la même année en moyenne 0,444 kreuzer par tonne-kilomètre. La dépense totale annuelle de la traction des tenders monte donc à 376 338,85 florins, ou à peu près 9 p. 100 de la dépense totale de 4 191 000 florins.

Il est vrai que, les frais de traction ne variant pas exactement en proportion directe avec la charge, le pour centage trouvé ci-dessus est certainement trop élevé. Mais on pourrait se placer à un autre point de vue et dire qu'on aurait pu faire 84 millions de tonne-kilomètres utiles en plus, sans que les frais eussent été augmentés.

****



s'il dépasse parfois aussi le poids strictement nécessaire pour l'adhérence, se trouve toujours avec ce dernier dans un rapport de beaucoup plus favorable.

La locomotive électrique possède encore un grand avantage sur la locomotive à vapeur au point de vue du coefficient de l'adhérence. Tandis que, d'après le calcul, on ne pourrait compter pour l'effort de traction maximum plus de 16 p. 100 du poids utile dans le dernier cas, on peut sans inconvénient compter 25-30 p. 100 dans le premier. La pratique confirme d'ailleurs cette affirmation [1].

Une valeur aussi élevée du coefficient d'adhérence est de la plus grande importance, surtout pour les trains de marchandises sur des lignes accidentées, où l'effort de la traction devient très considérable : une locomotive électrique n'exige, même dans ces circonstances défavorables, aucune surcharge pour augmenter son poids. La cause de ce fait singulier, souvent contesté, est que le couple moteur est constant à la jante de la roue motrice, tandis qu'il varie suivant la position de la manivelle, aux locomotives à vapeur; une autre raison est que le coefficient du frottement entre rail et roue paraît augmenter par le passage du courant de retour [2].

Mais non seulement le poids de la locomotive électrique est inférieur à celui de la locomotive à vapeur, la résistance au roulement y est encore considérablement abaissée. Les frottements des diverses pièces de la locomotive à vapeur, surtout l'inévitable accouplement des essieux font en effet, que la résistance d'une locomotive seule est à peu près le double de celle des voitures. Celle-ci est, en palier, approximativement :

$$W_V = 1{,}5 + 0{,}001\,V^2$$

et celle des locomotives,

$$W_L = 4\sqrt{a} + 0{,}002\,V^2$$

où a désigne le nombre des essieux accouplés et V la vitesse en km-heure. La figure 3 montre comment varient W_V et W_L avec V [3].

Tous les avantages de la locomotive électrique deviennent évidents en étudiant le tableau suivant :

---

(1) La locomotive électrique de la ligne Baltimore-Ohio, a exercé, dans un cas spécial, 30 tonnes comme effort maximum, son poids propre étant 90 tonnes.

D'autre part, suivant une communication de M. Potter (Regierungsbaumeister, *Glasser's Annalen*, 1900), parmi les conditions de livraison d'une locomotive électrique, il était prescrit que celle-ci puisse démarrer avec un train de 90 tonnes (sans locomotive) sur une rampe de 10 p. 100 et dans une contre-courbe 150 m de rayon. Aux essais de réception officiels, faits par M. Potter même, il a été constaté que la locomotive, du poids total de 13 tonnes, a démarré sans fonctionnement de sablières et a remorqué le train sur la ligne avec une vitesse de 6 à 7 km : h. La locomotive avait deux essieux, dont un seul était essieu-moteur.

Le temps d'accélération n'est pas indiqué, mais si nous le supposons de deux minutes, — ce qui est assez largement calculé, — nous trouvons, en employant les formules connues, que l'effort moteur au moment du démarrage était 2615 kg. Supposant que le poids de la machine était également réparti entre les deux essieux, le chiffre précédent correspond à un coefficient d'adhérence de 39 p. 100.

(2) La comparaison précédente devient encore beaucoup plus favorable pour l'électricité, si nous considérons une voiture automotrice, au lieu d'une locomotive, car alors l'équipement électrique n'y intervient que comme surplus de chargement pour les voitures. Ainsi l'équipement électrique d'une voiture motrice de la ligne « Valtellina », d'une puissance de 600 chevaux eff. ne pèse que 20 tonnes.

(3) La résistance au roulement des voitures motrices électriques ne dépasse que d'une valeur insignifiante celle des voitures remorquées, car il n'y a de plus que le frottement de deux paliers par essieu et le frottement négligeable de l'accouplement élastique entre l'induit du moteur et de la roue.

La résistance totale d'une locomotive avec tender est indiquée dans les publications de M. Leitzmann, mentionnées plus haut. Comme nous l'avons dit, la locomotive à quatre cylindres du « Nord » français consomme 8 kg de vapeur par cheval-heure indiqué, mesuré sur la jante. Mais si nous calculons la quantité de vapeur par cheval-heure utile, mesuré au crochet du tender, nous trouvons que c'est 20 kg. La différence considérable entre ces deux chiffres provient de la transmission de la locomotive avec son tender, et des divers frottements de la machine à vapeur.



PROPRIÉTAIRE DE LA LOCOMOTIVE	TYPE de la locomotive	POIDS de la locomotive et du tender en tonnes	POIDS d'adhérence en tonnes	PRESSION de la vapeur, atmosphères	VITESSE en km-heure	PUISSANCE aux crochets en chevaux	POIDS TOTAL par cheval en kg
Chemin de fer de l'Etat hongrois.	Compound express	95,3	28	13	90	860	110
Idem	Locomotive des trains rapides pour lignes accidentées.	91,13	41	13	75	840	108
Idem	Locomotives compound pour trains de marchandises.	76,5	42,5	13	60	680	112
Chemin de fer de l'Etat français (Creusot).	Locomotive express, système Thuile.	140	32	15	120	1400	99
Locomotive électrique de la « Rete Adriatica ».	Trains de marchandises.	40	40	—	30	600	66
Voiture motrice de la « Rete Adriatica »	Trains de voyageurs rapides.	20(1)	50	—	60	600	33

(1) Poids de l'équipement électrique, et en outre du châssis sur les voitures remorquées.

Nous voyons que le poids par cheval utile atteint 100 à 110 kg pour les locomotives à vapeur, tandis qu'il est seulement 66 kg pour les locomotives électriques, et 33 kg pour les voitures

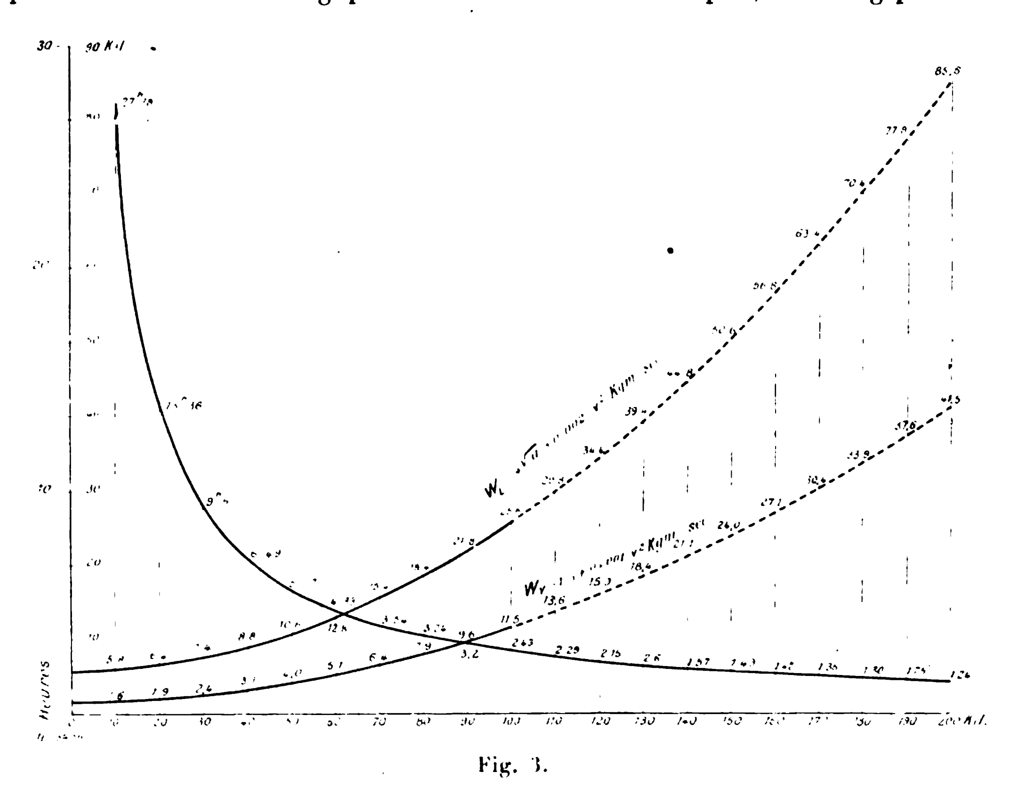


Fig. 3.

motrices. Le poids mort est donc de 40 à 70 p. 100 plus petit dans le cas de la traction électrique. Nous savons en effet que les locomotives à grande vitesse sont celles qui peuvent développer la plus grande puissance.



Un dernier point à relever est que, pour un même poids, la puissance d'une locomotive à vapeur dépend de sa vitesse. Cela tient à ce que l'échappement rapide de la vapeur produit un courant d'air intense, rendant possible la combustion d'une quantité de charbon considérable sur la grille relativement peu étendue. Les locomotives à vitesse modérée ne peuvent pas consommer une pareille quantité de charbon, l'échappement de la vapeur se produisant beaucoup plus lentement. Une chaudière, ayant la même surface de chauffe, partant le même poids, peut donc produire une quantité plus grande de vapeur en marche rapide qu'en marche lente, en palier qu'en rampe.

La puissance de la locomotive électrique est au contraire entièrement indépendante de la vitesse. Elle est donc, à ce point de vue aussi, plus parfaite que la locomotive à vapeur.

III. Récupération de l'énergie. — Nous savons que le nombre des tours par minute d'un moteur triphasé est pratiquement constant à toute charge, même variable, et que si nous augmentons par une cause extérieure quelconque cette vitesse, le moteur devient automatiquement générateur et envoie des courants dans le réseau des conducteurs.

Cette particularité des moteurs triphasés est de la plus grande importance pour la traction électrique sur les grandes lignes.

En effet, si un train descend une pente, et si, par suite de la gravité, sa vitesse augmente au-delà de la vitesse de régime, le train est automatiquement freiné par ses moteurs. Mais l'énergie de la force vive n'est pas transformé en chaleur par les sabots des freins ordinaires ; elle est récupérée sous forme de courants électriques et renvoyée aux conducteurs. Donc l'énergie nécessaire pour faire monter un train d'une certaine hauteur est, dans sa plus grande partie, récupérée à la descente, la perte étant celle qui correspond au rendement des moteurs et des conducteurs. Les frais de la traction sur les grandes lignes se trouvent considérablement abaissés par ce fait. Aussi dans les projets de nouvelles lignes ne faut-il pas craindre les fortes rampes, au point de vue de l'exploitation économique. Le capital du premier établissement se trouve ainsi moindre que pour les anciennes lignes à vapeur.

Le couplage des moteurs en série permettant la diminution de la vitesse de régime à la moitié de sa valeur normale, on peut marcher à deux vitesses différentes. Si lorsqu'un train marche à pleine vitesse, on accouple les moteurs en série, l'énergie de la force vive correspondant à la différence des deux vitesses est également récupérée sous forme d'énergie électrique, et la vitesse du train est réduite à la moitié sans aucun freinage mécanique.

L'énergie récupérée de cette manière est théoriquement les 3/4 de l'énergie nécessaire pour l'accélération du train depuis la vitesse nulle jusqu'à pleine vitesse, abstraction faite de la perte dans les moteurs et dans les conducteurs.

Cette particularité des moteurs triphasés, lors de leur accouplement, est surtout très avantageuse sur des lignes à arrêts fréquents comme les lignes urbaines et métropolitaines à trafic intense.

IV. Frais d'entretien des chaudières. — 1° *Chaudières.* La chaudière constitue la partie la plus délicate d'une locomotive à vapeur ; elle exige souvent des réparations. Les fréquents échauffements et refroidissements consécutifs déterminent, dans le métal, un mouvement moléculaire qui le détériore rapidement ; le chauffage est extrêmement forcé, et au moment de la charge du combustible, de l'air froid entre dans le foyer à haute température, ce qui est également très nuisible. L'eau d'alimentation contient fréquemment des impuretés, qui contribuent pour beaucoup à la détérioration rapide de la chaudière ; et l'épuration de l'eau est tellement difficile que très peu de Compagnies ont établi des épurateurs d'eau spéciaux [1].

L'entretien des chaudières fixes est beaucoup plus avantageux, car celles-ci sont en service continu pendant la plus grande partie de la journée, et se refroidissent lentement quand elles cessent

[1] L'importance des réparations des chaudières est mise en évidence par la mesure prise par la direction des Chemins de fer de l'État prussien, de mettre dans les dépôts des chaudières de réserve, afin que les locomotives entrant à l'usine de réparations à cause de leur chaudière, puissent continuer leur service par le simple changement de celle-ci.



d'être en service, les murs mauvais conducteurs de chaleur empêchant une rapide déperdition de cette chaleur. D'autre part, l'eau d'alimentation des chaudières fixes peut être toujours épurée, de sorte qu'une influence nuisible à la chaudière n'est pas à craindre de ce chef. Quant au chargement du charbon, il peut être effectué automatiquement, suivant la méthode qui tend à se généraliser ; non seulement il y a ainsi économie de charbon, mais encore suppression de l'entrée de l'air froid au moment de l'ouverture des portes de chargement et par conséquent économie dans l'entretien des chaudières.

2° *Mécanisme moteur.* — La machine à vapeur de la locomotive est toujours exposée à l'action de la poussière, de la pluie et de la neige, ce qui augmente l'usure des pièces frottantes. En outre la conduite d'échappement de vapeur aboutissant à la boîte de fumée, il est impossible d'éviter que les produits de la combustion ne soient pas aspirés dans le cylindre, après la fermeture de la conduite d'échappement, par l'action du piston ; pendant une partie de la course du dernier de petites particules de charbon, de la suie ou des cendres entrent donc dans le cylindre et l'usent rapidement.

Les machines à vapeur d'une station centrale par contre sont placées dans des halls de machines bien éclairés, bien ventilés, proprement entretenus, où ne règne ni poussière ni humidité. Une machine dans de telles conditions travaille donc naturellement beaucoup plus longtemps sans exiger de réparations qu'une machine mobile.

Quant aux moteurs électriques, leur mode de construction actuel permet d'en protéger la partie la plus délicate, c'est-à-dire l'induit, celui-ci est hermétiquement enfermé dans une caisse métallique, de sorte que ni l'huile, ni l'eau ne peuvent l'atteindre. Il n'y a que deux coussinets, trois bagues glissantes, et les balais qui soient sujets à l'usure, mais ils sont aussi protégés contre la poussière et par suite l'usure en est assez lente.

La réparation d'un moteur électrique n'exige d'ailleurs pas beaucoup de temps, car toutes les parties étant interchangeables, une pièce défectueuse peut immédiatement être remplacée.

L'usure du mécanisme d'accouplement entre l'induit du moteur et l'essieu peut aussi être réduit par la trempe des pièces frottantes, notamment les tourillons et les douilles respectives. Leur mouvement relatif est d'ailleurs peu considérable

Les jantes des roues motrices d'une locomotive à vapeur s'usent inégalement par suite de la variation de la force tangentielle. Cette force étant constante pour les locomotives électriques, l'usure des jantes est donc également constante et considérablement moindre.

D'autre part, les roues des locomotives à vapeur et du tender s'usent principalement par suite du freinage mécanique surtout sur les lignes présentant de grandes déclivités. Le freinage mécanique des locomotives électriques n'étant employé que pour l'arrêt, la diminution de vitesse se faisant par freinage électrique, l'usure des roues est par conséquent beaucoup moindre.

De ce qui précède on peut donc conclure que la substitution de la traction électrique à la traction à vapeur aura pour effet de diminuer l'importance des ateliers de réparations et le nombre des locomotives, les réparations étant moins nombreuses et plus rapides pour ces locomotives que celles à vapeur.

3° *Voitures.* — L'installation intérieure des voitures remorquées, ainsi que le vernissage extérieur sont rapidement détériorés sous l'influence de la fumée des locomotives. L'absence totale de celle-ci constitue donc un avantage de la traction électrique.

Le démarrage lent et doux des moteurs triphasés, l'usage moins fréquent du frein mécanique ont également une influence favorable sur la conservation de la caisse des voitures, c'est-à-dire sur les frais d'entretien du matériel roulant entier.

4° *Equipement.* — Nous avons déjà dit que le poids brut d'une locomotive électrique est plus petit que celui d'une locomotive à vapeur de même puissance. Le nombre des essieux accouplés y est limité par la construction même, tandis que la locomotive électrique peut avoir sur chaque essieu un moteur. La charge par roue deviendra donc moindre [1].

---

[1] Il est vrai qu'on a construit récemment des locomotives à vapeur à deux boggies ayant chacun deux ou trois



Le mouvement alternatif des masses d'une locomotive à vapeur produit un mouvement nuisible (lacet, tangage, etc.), dont l'action défavorable sur la voie et le matériel est bien connue [1]. La locomotive électrique n'a pas de mouvement nuisible.

En résumé, la marche de la locomotive électrique est tranquille, son poids moindre, ses ressorts plus élastiques. La voie et le matériel sont donc moins fatigués par la locomotive électrique que par la locomotive à vapeur.

Enfin, on sait combien la fumée rend difficile l'entretien de la voie dans les tunnels : on est même forcé d'installer des ventilateurs spéciaux dans les longs tunnels pour en faciliter l'entretien. Dans le cas de la traction électrique aucune ventilation n'est nécessaire.

V. Frais de personnel de la locomotive. — La manipulation des appareils électriques d'une locomotive ou voiture motrice est extrêmement simple et n'exige pas de mécaniciens très instruits.

Un seul conducteur par train suffit, tandis que le service d'une locomotive à vapeur exige deux personnes.

On pourrait objecter à cette solution que si le conducteur devient incapable de continuer son service en marche, par suite d'un accident quelconque, il n'y a ainsi personne pour le remplacer. Mais il est tellement invraisemblable qu'un conducteur devienne subitement incapable au service et qu'il n'ait pas le temps d'arrêter le train, que cette objection ne justifie pas encore le doublement constant du personnel de la traction.

D'ailleurs les stations sont munies d'interrupteurs spéciaux permettant au personnel de ces stations d'arrêter un train quelconque. En outre, il est facile d'installer un dispositif au moyen duquel le chef du train puisse lui-même arrêter le train en cas de danger.

Une économie sérieuse en frais de personnel est donc possible.

VI. Avantages de la traction électrique au point de vue du trafic. — Ces avantages sont les suivants :

1° La sécurité du public voyageur est incomparablement plus élevée, car les trains ne peuvent pas aborder les stations, ni les quitter, qu'après l'insertion du tronçon respectif de la voie dans le circuit électrique. Cette insertion étant opérée par le chef de la station même, il est impossible que la négligence du conducteur soit la cause d'un accident.

2° L'économie dans les frais de la traction et de l'entretien rend possible l'augmentation de nombre et de la vitesse des trains, partant de l'intensité du trafic. La durée d'un parcours se trouve encore diminuée du temps qui est nécessaire à la prise de l'eau par la locomotive à vapeur.

3° L'augmentation de la vitesse de la locomotive à vapeur n'est possible qu'en augmentant la capacité de la chaudière, c'est-à-dire le poids propre de la machine. Mais alors la voie doit être renforcée.

Le nombre des essieux moteurs d'une locomotive électrique n'est pas resserré entre des limites aussi étroites que celui des essieux d'une locomotive à vapeur. Par suite, une augmentation de la puissance peut s'effectuer sans augmenter la charge par essieu, et on pourrait augmenter la vitesse des trains électriques tout en maintenant les voies actuelles.

4° La question si importante de l'éclairage des trains et des stations est évidemment résolue si l'on emploie l'électricité comme agent moteur.

---

essieux accouplés et sa machine à vapeur distincte. C'est un progrès considérable dans la construction des locomotives, mais la solution est rendue onéreuse par suite de la multiplication des machines à vapeur et les frais d'entretien sont élevés, car la conduite d'alimentation et d'échappement de la vapeur exige des dispositions compliquées et délicates.

Une locomotive électrique à deux boggies, avec deux ou trois essieux chacun, peut être d'ailleurs aisément construite : les ressorts en seront plus longs et plus élastiques que ceux des essieux moteurs et essieux accouplés d'une locomotive à vapeur.

[1] Cependant il se pourrait, que le brevet Schlick, concernant le contrebalancement du mouvement alternatif des machines à vapeur, qui a été récemment appliqué avec plein succès aux machines de bateaux, réussisse également aux locomotives à vapeur, mais il faudrait alors au moins quatre cylindres. Cette solution n'est donc possible, qu'au détriment de la simplicité.



L'éclairage des trains peut être assuré par deux circuits distincts : l'un, fonctionnant aussi longtemps que la voiture est sous tension, est alimenté par le courant de la ligne; l'autre, sur lequel sont insérées les lampes de signaux, est alimenté par une petite batterie d'accumulateurs.

Les démarrages fréquents des trains donnant lieu à des variations de charge de la station centrale qui pourraient désagréablement influencer l'éclairage des stations, il serait avantageux d'installer aux stations de petites usines de transformation composées chacune d'une commutatrice et d'une batterie tampon, dont le courant continu à tension constante pourrait alimenter les lampes. Le courant primaire de la ligne permettrait d'ailleurs d'actionner les grues, les monte-charges, les disques tournants, et éventuellement les machines-outils utilisées pour l'entretien de la voie.

5° Il n'est pas de voyageur qui ne sache combien, lorsque la chaleur oblige d'ouvrir les fenêtres, la fumée est désagréable. C'est peut-être là un inconvénient secondaire pour le technicien, mais il est très important pour le public, qui préférera de beaucoup une ligne propre et sans fumée desservie par l'électricité.

Enfin, les étincelles, qui constituent un des dangers de la locomotive à vapeur et qui obligent les Compagnies à protéger un certain rayon contre l'incendie, se trouveraient supprimées dans le cas de la traction électrique.

VII. Trains a grande vitesse. — Comme nous l'avons déjà dit, la vitesse des trains électriques pourra être augmentée sans rien changer à l'infrastructure de la voie. Cette augmentation est même indispensable car elle est considérée par le public comme le premier et le plus grand avantage de la traction électrique; toutefois elle est nécessairement limitée.

L'une des courbes de la figure 3 donne graphiquement le temps nécessaire pour le parcours Budapest-Vienne, en fonction de la vitesse, celle-ci étant supposée varier entre 0 et 200 km : heure.

La même figure nous montre aussi l'accroissement du coefficient de traction en fonction de la vitesse. Or, nous voyons, qu'au delà d'une certaine limite, le peu de temps que nous gagnons par une vitesse exagérée est très chèrement payé par le surplus de l'énergie nécessaire à la traction. Si l'on tient compte, en outre, de l'augmentation de l'entretien du matériel roulant et de la voie avec la vitesse, nous pouvons conclure que l'augmentation de la vitesse au delà de 100, maximum 120 km par heure n'est pas motivée.

VIII. La traction électrique au point de vue stratégique. — Souvent on a objecté contre la traction électrique, que la substitution de celle-ci à la traction à vapeur ne pourra se généraliser parce que, en cas de guerre, l'exploitation de tout un rayon serait à la merci de la destruction de quelques conducteurs et que la détérioration d'une station centrale aurait pour conséquence l'interruption du trafic sur un réseau entier.

Mais ce n'est pas une chose si simple que de couper un conducteur à 3 000 volts, ou un feeder à 20 000 volts. Il faudrait disposer d'outils spéciaux, comme échelles, gants en caoutchouc, etc,, et ce travail exigerait au moins la même préparation que la destruction d'une voie ferrée. Par contre, le rétablissement d'un conducteur coupé serait beaucoup plus simple que la réparation d'une voie détruite.

D'un autre côté, les grandes stations centrales ne seraient pas placées à la frontière, au terminus de la voie, mais au moins à 60 ou 80 km dans l'intérieur du pays. Si une de ces stations se trouvait à un endroit exposé, serait-il si difficile de l'entourer de quelques fortifications la défendant contre une attaque inattendue ?

Il est d'ailleurs probable, que les grands avantages économiques de la traction électrique détermineront les Compagnies à l'adopter et la substituer progressivement sur toute l'étendue de leurs réseaux, de sorte que, après un délai déterminé, offenseur et défenseur lutteront dans les mêmes conditions.

En ce qui concerne l'exploitation d'une ligne située en territoire ennemi, il sera toujours possible de l'assurer par des locomotives à vapeur constituant, en temps de paix, la réserve nécessaire à tout service.



IX. Service des grandes stations centrales. — La puissance d'une station centrale, desservant un réseau étendu à trafic intense, atteindra 10 000 à 15 000 chevaux. La surveillance des machines et des chaudières pourra donc y être exercée par des ingénieurs instruits, ayant des connaissances théoriques et pratiques.

Le chauffage des chaudières y sera constamment contrôlé par des instruments parfaits (pyromètres, analyseur des gaz de combustion, appareil pour mesurer le courant d'air, etc.) et le rendement des chaudières aura sa valeur maximum. De même l'eau d'alimentation subira un contrôle continu.

Le fonctionnement des machines à vapeur sera contrôlé par des indicateurs, de telle sorte que tout défaut puisse immédiatement être découvert et réparé.

Partant le rendement de toute la station sera élevé et l'exploitation en sera économique.

Conclusions. — Les avantages de la traction électrique sur la traction à vapeur peuvent, d'après ce qui précède, être résumés ainsi :

Economie en vapeur jusqu'à 50 p. 100, économie de charbon d'au moins 25 p. 100. Poids plus petit d'une locomotive électrique. Résistance au roulement plus favorable.

Récupération de l'énergie en pente, entretien moins coûteux du matériel roulant, partant un matériel moins nombreux. Ateliers de réparation plus simples.

Economie dans les frais du personnel; sécurité plus élevée du service. Etablissement d'un trafic plus intense avec unités plus petites et plus rapides. Possibilité de maintenir les voies actuelles pour des vitesses élevées. Bon éclairage des trains et des stations. Absence de fumée, absence des étincelles de cheminée et enfin; possibilité de l'utilisation des forces naturelles.

Par contre la traction électrique exige un grand capital de premier établissement, ce qui constitue la seule, mais sérieuse objection contre l'application générale de ce système. Mais ce fait ne pourra pas empêcher la généralisation de la traction électrique, car des sociétés se fonderont, — comme c'est le cas en Italie, — qui exploiteront tout un réseau, sous des conditions fixées, ou bien elles ne fourniront que l'énergie électrique, tandis que les propriétaires des lignes se chargeront eux-mêmes de l'établissement de l'équipement électrique, et se procureront le matériel roulant nécessaire.

La supériorité de la traction électrique a été en partie déjà démontrée par les tramways urbains. Mais l'application de cette méthode de traction sur des lignes interurbaines n'était pas possible jusqu'ici, faute d'un système convenable. Aujourd'hui la question est résolue, le système, étudié dans ses moindres détails existe déjà, rien ne s'oppose donc contre son application générale.

Eugen Cserhati.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

MOTEURS

Moteurs d'induction Lamme. Brevet français n° 305 273 du 10 novembre 1900. Breveté aux Etats-Unis le 14 avril 1900.

Ce dispositif a pour but d'obtenir un couple moteur constant avec une vitesse variable. Généralement, pour faire varier la puissance dans l'induit, on fait varier des résistances reliées par des bagues au circuit de cet induit. Le procédé en question consiste à faire varier le courant d'un circuit qui est en relation inductive avec le circuit de l'induit, et qui contient une résistance invariable. Par ce moyen un voltage élevé peut être employé dans l'induit, et un faible voltage dans le circuit qui contient la résistance invariable, ce qui permet d'employer un genre de résistance relativement peu coûteux et d'un usage efficace et durable.

L'induit I du moteur est relié par les bagues et les frotteurs à l'enroulement primaire d'un transformateur triphasé T en étoile, dont le nom-



bre d'ampèretours est variable. Les enroulements secondaires du transformateur sont en étoile, et sont reliés par leurs extrémités libres en des points équidistants à une résistance appropriée R.

Celle-ci peut être variable si on le désire, mais en général on la choisira de façon à ce qu'elle ait une valeur invariable pour une machine donnée.

On relie une série de points de chaque section de l'enroulement primaire à un commutateur C, qui permet de relier un nombre plus ou

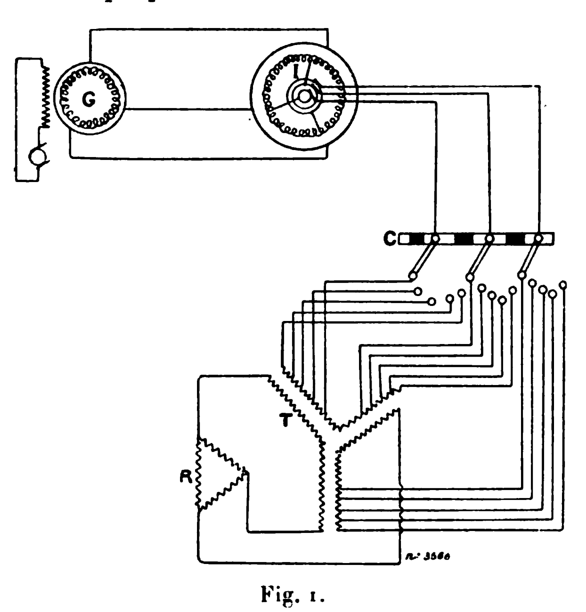


Fig. 1.

moins grand de spires du primaire aux frotteurs. La résistance du primaire est si faible, que des changements dans sa longueur, dans le but de faire varier la force électromotrice du circuit, ne changent pas la résistance ohmique de ce circuit.

Puisque le courant dans l'induit du moteur est à peu près constant pour un couple donné, une variation du nombre d'ampèretours du primaire du transformateur fera varier de façon correspondante le nombre d'ampèretours du secondaire; comme le nombre de spires secondaires ne change pas, c'est le nombre d'ampères qui varie, et cette variation d'ampères fait varier la puissance dans l'induit, puisque la résistance est constante. Cette variation de la puissance fait changer le glissement et par conséquent la vitesse. Une augmentation dans les ampèretours produit une augmentation dans le glissement du moteur et une diminution de vitesse, le couple restant toujours à peu près constant.

On pourra aussi faire varier la longueur de l'enroulement secondaire du transformateur, au lieu de celle du primaire. On peut employer un nombre quelconque de phases, et donner aux enroulements de l'inducteur et de l'induit toutes les dispositions convenables, en rendant l'un ou l'autre mobile. A. NUNÈS.

DIVERS

Déperdition de l'électricité dans les régions élevées de l'atmosphère, par **H. Ebert**. *Dr. Ann.*, t. V, p. 718-725, juillet 1901.

Cette étude de la déperdition électrique dans les régions élevées de l'atmosphère a été effectuée au cours de trois ascensions en ballon libre, dans des conditions météorologiques très différentes. L'une des ascensions a eu lieu en été (30 juin 1900), l'autre en automne (10 novembre 1900), le sol n'étant pas recouvert de neige, la troisième en hiver (17 janvier 1901), le sol étant couvert de neige.

Les observations ont été faites au moyen du dispositif employé par Elster et Geitel ([1]). Il a été vérifié avant le troisième départ que le voisinage du ballon n'avait aucune influence sur l'instrument chargé.

Chaque fois, M. Ebert a constaté que, sauf dans les régions où existait de la vapeur d'eau condensée, la vitesse de déperdition croissait pour les deux électricités : de plus, la différence de vitesse qui se manifeste si nettement à la surface du sol au profit de l'électricité négative, diminue de plus en plus à mesure qu'on s'élève.

Au-dessus de 3 000 m, dans une région où l'air était très sec et fortement exposé aux rayons solaires, la conductibilité de l'air était notablement accrue et atteignait trois ou quatre fois la valeur qu'elle présente dans la même saison, par un temps clair, à la surface du sol. En outre, la vitesse de déperdition était à peu près la même pour les deux signes d'électrisation (valeur moyenne du rapport : 1,02).

Jusque vers 1 400 m, on observe encore une unipolarité très marquée, qui s'atténue de plus en plus entre 1 400 et 2 000 m. Jusqu'à l'altitude de 2 000 à 3 000 m, il existe donc dans l'air atmosphérique un excès d'ions positifs.

M. L.

([1]) *L'Éclairage Électrique*, t. XXV, p. 318, nov. 1900.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 1er juillet 1901.

Préparation et propriétés de la fonte de niobium, par **Henri Moissan**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 20-25.

On commence par préparer une fonte de niobium et de tantale en traitant au four électrique (1000 ampères, 50 volts, 7 à 8 minutes de chauffe) un mélange intime de charbon de sucre et de niobite réduite en poudre et contenant 83,2 p. 100 d'acide niobique et d'acide tantalique. Par traitement chimique, on retire de cette fonte de l'acide niobique à peu près pur. Cet acide est additionné de charbon de sucre et traité au four électrique à tube (600 ampères, 50 volts, 3 minutes de chauffe).

M. Moissan a étudié les propriétés de cette fonte.

Les ondes hertziennes dans les orages, par **F. Larroque**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 36.

Pour déceler ces ondes, l'auteur prend un disque horizontal en zinc de 40 cm de diamètre, exposé à l'air libre et relié à une prise de terre par un fil de 1 mm de diamètre. Ce fil traverse une chambre murée et obscure à l'intérieure de laquelle il présente une solution de continuité pourvue d'un micromètre à étincelles; on observe les étincelles sans grossissement.

Pendant le mois de juin, l'auteur a fait plusieurs séries d'observations nocturnes. Il a constaté des étincelles alors que le ciel était parfaitement serein au lieu des observations; l'une des séries coïncidait avec un orage de grêle signalé sur les Grampians, en Ecosse, l'autre avec un orage qui, dans la nuit du 18 au 19 juin, eut lieu en Corse.

Séance du 8 juillet 1901.

La seule communication à signaler est une courte note de M. Pollak sur la mise en série des soupapes électriques; les résultats indiqués par l'auteur sont donnés dans l'article que nous consacrons aujourd'hui à ces appareils.

Séance du 15 juillet.

Sur la direction d'aimantation dans des couches d'argile transformée en brique par des coulées de lave, par **MM. Bernard Brunhes** et **Pierre David**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 156.

On sait que l'argile, en cuisant dans un four à brique, prend une aimantation dirigée dans le sens du champ magnétique terrestre à l'instant de la cuisson, et que cette aimantation, d'intensité variable avec la nature et la composition de l'argile, reste très stable. M. Folgheraiter (1) a fondé sur ces remarques une méthode d'étude de l'inclinaison magnétique terrestre dans l'antiquité : ses études ont porté sur des vases en terre cuite de l'époque étrusque et de l'époque romaine. L'incertitude où l'on est de l'*orientation* des vases placés verticalement dans les fours pendant la cuisson n'a permis aucune conclusion relative à la *déclinaison* magnétique.

Il serait intéressant de connaître les deux angles qui définissent la direction du champ terrestre, non seulement dans l'antiquité, mais, si c'était possible, aux époques géologiques. Les observations faites par MM. Brunhes et David dans la région volcanique du Puy-de-Dôme, paraissent mettre sur la voie de la solution du problème (2).

(1) Voir *Éclairage Électrique*, t. XIV, p. 400, 26 février 1898; t. XXI, p. 226, 11 novembre 1899.

(2) « En divers points, aux environs de Clermont, notre collègue M. Ph. Glangeaud nous a montré des couches d'argile de la fin du pliocène supérieur et du commencement du quaternaire disposées horizontalement et sur lesquelles est venu couler un fleuve de lave parfaitement régulier : l'argile a gardé, à partir de deux ou trois mètres de profondeur au-dessous de la lave, sa couleur et son état d'argile non cuite ; mais la couche supérieure, immédiatement en contact avec la lave, a été cuite sur place et s'est trouvée dans les mêmes conditions que les poteries cuites au four dans le champ magnétique terrestre, avec cette circonstance plus favorable qu'on est certain, au moins dans quelques cas bien déterminés, que l'argile cuite sur place n'a pas été déplacée depuis l'époque de l'éruption volcanique.

» Nous avons, dans un grand nombre de ces carrières de brique naturelle, taillé de petits cubes orientés, et étudié leur aimantation à l'aide des appareils magnétiques appartenant à l'observatoire du Puy-de-Dôme. *Nous avons trouvé, en général, une aimantation de direction*

bien définie et différente de la direction actuelle du champ terrestre.

» Nous citerons comme exemples trois carrières voisines, nos 5, 6 et 7, situées sur la route nationale n° 89 de Lyon à Bordeaux, au voisinage de la borne 2,400 km à partir de Clermont, près du village de Beaumont. Douze échantillons ont été étudiés et ont donné des résultats très concordants.

» Chaque échantillon est un cube qu'on a taillé sur place, à arêtes respectivement dirigées nord-sud, est-ouest et verticales. La direction que nous appelons nord-sud est celle du méridien magnétique actuel donnée par une petite boussole de déclinaison.

» On obtient la valeur de la composante nord-sud en plaçant le cube de telle sorte que son axe nord-sud soit dans la première position de Gauss (c'est-à-dire que le prolongement de cet axe passe par le centre du barreau), à quelques centimètres du barreau du déclinomètre Mascart. On retourne le cube de manière à échanger les faces nord et sud, et l'on note le déplacement de l'échelle. *On s'assure que ce déplacement reste sensiblement le même pour les quatre positions que l'on peut donner au cube, en laissant toujours les faces nord et sud aux mêmes places.* Si cette condition n'était pas réalisée, c'est qu'il y aurait défaut d'homogénéité dans le bloc, et l'on ne pourrait faire entrer les mesures faites sur ce cube en ligne de compte (cela arrive fréquemment, par suite d'interposition de morceaux assez gros de granit ou de quartz à l'intérieur de la brique).

» On opère de même pour la composante est-ouest et pour la composante verticale :

Exemples :

Carrière n° 5, échantillon n° 2.		Carrière n° 7, échantillon n° 5.	
NS.	— 3,7	NS	— 14,9
EW	— 0,5	EW	— 1,75
Verticale et dirigée vers le bas . . .	+ 5,9	Verticale et dirigée vers le bas . . .	+ 22,7

» Ces morceaux ont les mêmes dimensions (8 cm de côté); on voit que l'intensité d'aimantation est très différente de l'un à l'autre, et cependant la direction y est très sensiblement la même. Toutefois, l'aimantation reste toujours assez faible pour qu'on puisse négliger la force démagnétisante. Cette aimantation a varié, suivant les échantillons, de 0,0018 C. G. S. à 0,00045 C. G. S.

» On a ainsi, pour l'échantillon n° 2 de la carrière n° 5,

$$\delta = \Delta + 7^{\circ}30' \text{ Est}$$

(Δ étant la déclinaison actuelle, et δ la déclinaison donnée par le cube de brique), cela donnerait une déclinaison occidentale d'environ

$$\delta = 7^{\circ} \quad \text{et} \quad I = 56^{\circ}30'.$$

» Nous nous sommes assurés directement qu'il n'y a pas, au voisinage des carrières étudiées, d'anomalie magnétique assez forte pour être prise en considération, étant donné le degré de précision que comportent les mesures précédentes.

» Pour l'autre échantillon, on a

$$\delta = \Delta + 7^{\circ} \text{ Est, et } I = 56^{\circ}30'.$$

» Pour ces trois carrières, les échantillons ont tous donné pour $\delta - \Delta$ des nombres compris entre 7° et 9°30' et, pour I, entre 56°30' et 58°30'. Il est évident qu'il serait illusoire de chercher une plus grande précision.

» D'autres carrières de briques dues à des coulées de lave de volcans différents ont donné des résultats très différents. Bornons-nous à signaler une carrière de Royat qui a donné une déclinaison différant de la déclinaison actuelle de 60° environ et à l'ouest (par suite une déclinaison occidentale de 75°) et une inclinaison de 75°.

» On aurait là peut-être un moyen de décider, dans un cas douteux, si deux coulées de lave d'une même région proviennent ou non d'éruptions contemporaines.

» Jusqu'ici nous avons partout trouvé le pôle de même signe que le pôle austral actuel, dirigé vers le bas; par suite, nous n'avons pas rencontré d'inclinaison négative comme M. Folgheraiter en a signalé. »

SOCIÉTÉ ALLEMANDE D'ÉLECTROCHIMIE [1]

Sur les phénomènes périodiques de l'électrolyse, par le Dr **Kœlichen**, de Clausthal. *Zeitschrift für Electrochemie*, t. VII, p. 629, 23 mai 1901.

Ces phénomènes ont été observés, il y a environ quatre ans, par le professeur F.-W. Küster, qui opérait l'électrolyse de l'antimoine dans une solution de sulfure de sodium. En 1899, le professeur Ostwald les a obtenus également avec le chrome.

L'orateur a entrepris, avec le professeur Küster, d'étudier le phénomène, et ce sont les premiers résultats de cette étude qu'il expose ici.

Si on électrolyse une solution saturée de sulfure de sodium, on constate, aussitôt après la fermeture du circuit, une variation périodique de l'intensité du courant. Ce phénomène est général et s'observe, dans certaines conditions, avec les sulfures alcalins et alcalino-terreux.

Pour déterminer le siège du phénomène, les auteurs ont d'abord mesuré les différences de potentiel à l'anode et à la cathode pendant les oscillations. Les mesures étaient effectuées par la méthode de compensation et l'électromètre Lippmann ; le circuit de mesure était fermé successivement au maximum et au minimum de l'oscillation. Les valeurs obtenues ainsi ont été les suivantes :

		Anode	Cathode
1er essai	maximum .	— 1,56 volt	+ 1,11 volt
	minimum. .	— 0,41 »	+ 1,16 »
2e essai	maximum .	— 1,57 »	+ 1,46 »
	minimum .	— 0,10 »	+ 1,58 »

(1) Voir numéro précédent, p. 111.



Ces valeurs, qui ne sont qu'approchées, montrent nettement que le phénomène réside à l'anode, tandis que la cathode reste sensiblement invariable.

Afin de déterminer si ces oscillations étaient dues à une polarisation variable ou à une résistance variable, des mesures semblables aux précédentes étaient effectuées en vue d'obtenir cette fois les valeurs des forces électromotrices correspondant au maximum et au minimum. A cet effet, le courant d'électrolyse était brusquement ouvert pendant un de ces passages et le circuit de mesures était fermé simultanément.

On a ainsi obtenu les valeurs ci-dessous

		Anode	Cathode
1er essai	maximum .	+ 0,64 volt	— 0,84 volt
	minimum. .	+ 0,66 »	— 0,83 »
2e essai	maximum .	+ 0,53 »	
	minimum. .	+ 0,53 »	

qui indiquent clairement que les oscillations observées sont dues à une variation périodique de la résistance de l'anode.

Cette variation de résistance à l'anode repose sur une séparation du soufre du sulfure alcalin et une dissolution de celui-ci par les ions S'' diffusant électrolytiquement d'où résulte la formation d'anions bivalents du polysulfure, anions qu'on peut désigner par S''_n.

La résistance du soufre séparé atteint quelques ohms.

Ce phénomène périodique de séparation et de redissolution du soufre peut être observé à l'œil nu dans certains cas, en particulier lorsqu'on utilise comme anode une électrode en platine poli. Celle-ci se recouvre de suite après le passage du courant d'une couche jaune de soufre qui forme un léger brouillard et dont on voit nettement les oscillations en certaines places.

Afin d'obtenir les courbes d'oscillations, on a fait usage de l'appareil enregistreur [1] du professeur Ostwald avec quelques modifications, car les oscillations sont ici d'une période beaucoup plus courte que celles observées par Ostwald avec le chrome. C'est ainsi qu'on a multiplié la vitesse du cylindre, de façon à avoir 1 centimètre en 28,6 secondes. Pour l'inscription, on a adopté le procédé du Dr H.-V. Steinwehr qui consiste en un fil traversé par le courant et muni d'une plume qui enregistre les variations dans la dilatation. Dans l'appareil présenté par l'orateur, il y a deux fils de fer de 21 centimètres de longueur entourés d'un tube de verre qui les protège des courants d'air extérieurs. La tension de ces fils est obtenue à l'aide de bandes en caoutchouc. Cette disposition a donné de bons résultats quoiqu'elle ne soit pas sensible

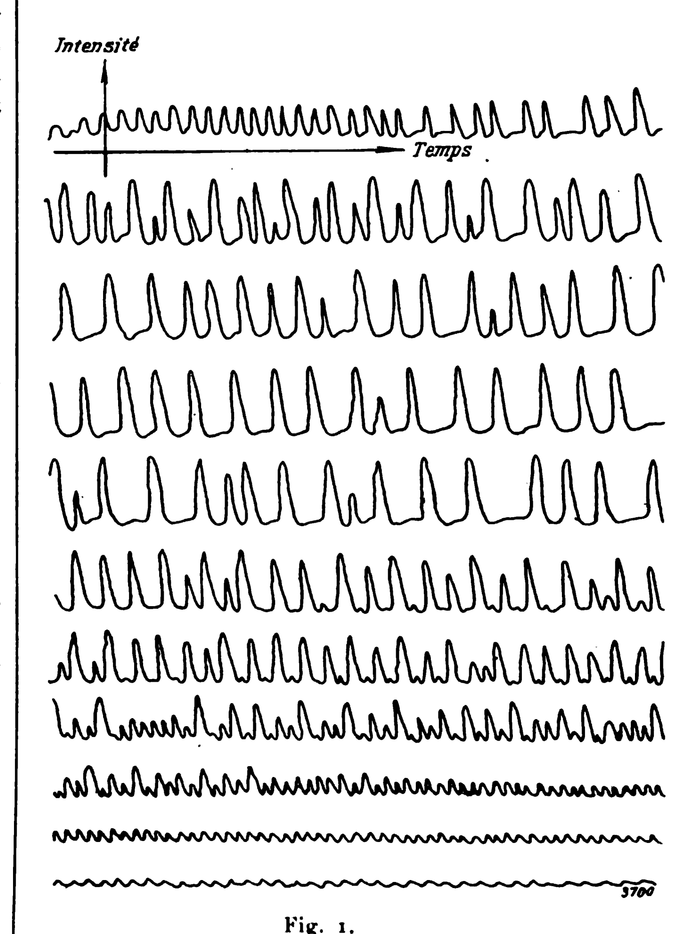


Fig. 1.

aux brusques oscillations. Les ordonnées des courbes sont proportionnelles au carré de l'intensité ; aussi n'y a-t-il pas assez de sensibilité quand cette intensité est faible. Dans ce cas, on augmente la sensibilité en envoyant dans le fil un courant constant supplémentaire et de même sens que le courant principal. Les courbes que l'on obtient alors donnent des valeurs à peu près proportionnelles à l'intensité.

La solution à électrolyser est placée dans un tube à essai court, les électrodes en platine platiné ont environ 10 cm² de surface sur un côté.

[1] *Zeitschrift für physikal. Chemie*, t. XXXV, p. 38.

La figure 1 donne l'aspect des courbes obtenues dans différents cas; elles affectent pour la plupart la forme de dents pointues ou arrondies. Elles se caractérisent toutes par une brusque élévation de l'intensité qui ne décroît ensuite que plus lentement. Pour obtenir ces oscillations il faut se tenir, pour chaque solution, dans des limites déterminées de densité de courant et de température.

Avec le monosulfure de sodium, il faut employer des densités de courant de 10 à 20 amp : dm^2 et les courbes sont d'autant plus nettes que les solutions sont plus concentrées. Plus la solution renferme de polysulfure, plus les oscillations deviennent incertaines. Pour une solution 1/2 moléculaire normale de sulfure de sodium, la concentration limite inférieure était obtenue par une teneur correspondant sensiblement à la formule $Na^2 S^2$. Avec une solution double moléculaire normale, on obtenait encore des oscillations avec $Na^2 S^3$.

Pour une même solution, pendant le cours de l'expérience la teneur s'accroît en polysulfure et les périodes d'oscillations s'allongent tandis que les amplitudes diminuent. Quand l'oscillation a cessé, on peut la faire réapparaître pendant un temps court par une petite diminution de la densité de courant.

L'influence de la température est liée à celle de la densité de courant ; cette dernière doit être d'autant plus haute que la température est plus élevée. Pour une densité de courant constante, les oscillations ne se produisent qu'entre deux limites bien déterminées de la température.

Ces faits sont en complet accord avec l'hypothèse émise au début d'une séparation et d'une redissolution périodiques du soufre, comme causes des oscillations. Ainsi, pour une intensité constante, la vitesse de dissolution du soufre diminue avec la température et quand celle-ci est suffisamment petite, le soufre ne se redissout pas. Lorsque la température croît, cette vitesse de dissolution arrive à surpasser celle de séparation et la dernière oscillation cesse alors avec la tension la plus petite et l'intensité la plus élevée, contrairement au cas précédent.

Comme la dissolution du soufre dépend de la concentration du monosulfure, les oscillations cessent d'autant plus facilement qu'il s'est formé davantage de polysulfure.

Une influence très remarquable est celle de la surface des électrodes. On trouve que les oscillations sont d'autant plus certaines et régulières que la surface des électrodes est plus grossière. Ainsi, alors qu'on obtient de très belles courbes d'oscillations avec de vieilles électrodes en platine rugueux, des électrodes en platine poli neuf ne permettent pas d'oscillations durables. L'expérience a montré qu'avec des électrodes platinées les formes des courbes sont beaucoup plus simples et régulières et surtout que les résultats obtenus sont toujours semblables, dans les mêmes conditions, ce qui ne se produit pas avec les électrodes rugueuses, mais non platinées.

Cette influence de la surface des électrodes doit être due à ce que les phénomènes qui déterminent les oscillations se produisent à la couche limite entre l'électrolyte et le conducteur. L'auteur en donne comme preuve le fait suivant : pendant l'électrolyse a lieu à la cathode un fort dégagement d'hydrogène qui produit une agitation de la solution sans troubler les oscillations. Mais si on insuffle de l'air dans la solution, on voit cesser immédiatement les oscillations pendant que l'intensité atteint sa valeur la plus élevée. L'agitation a, dans ce cas, troublé l'état stationnaire de la couche fluide voisine de l'anode et facilité la dissolution du soufre. L'intensité baisse peu à peu et les oscillations reparaissent quand on cesse l'agitation.

Quant à l'explication de ce phénomène périodique, elle reste encore à trouver, car on ignore pour quelles raisons il ne se produit pas un état stationnaire correspondant à un état d'équilibre entre les vitesses de séparation et de dissolution.

Pour terminer, l'orateur signale qu'il a obtenu les mêmes résultats avec d'autres solutions, l'iodure de potassium par exemple [1].

---

[1] *Discussion.* — Le Dr Coehn signale qu'il a constaté un phénomène semblable dans la production électrolytique des amalgames. Le mercure qui sert de cathode dans une solution d'un sel alcalin se colore d'abord en gris par la séparation du métal alcalin ; il se produit ensuite un brusque dégagement gazeux et l'amalgame se décompose ; puis l'amalgame se forme à nouveau. On peut constater ainsi 4 à 5 périodes successives par minute. On peut interpréter ces faits de la façon suivante : la formation de l'amalgame se produit jusqu'à une concentration déterminée, dépendant de la tension à la cathode. Le dégagement d'hydrogène électrolytique qui survient alors crée une augmentation de résistance de passage et

Sur la formation des perchlorates par l'électrolyse, par **F. Winteler**, de Darmstadt. *Zeitschrift fur Elektrochemie*, t. VII, p. 635, 23 mai 1901.

La préparation électrolytique des chlorates est une industrie actuellement très florissante et qui produit plusieurs milliers de tonnes par an. Aussi est-il intéressant de connaître dans quelles conditions les perchlorates résultent des chlorates.

D'un autre côté, les perchlorates offrent un grand intérêt pratique à cause de leur forte teneur en oxygène. Ainsi le perchlorate de potassium contient en poids 46 p. 100 d'oxygène ; ceux de sodium et d'ammonium respectivement 52 et 54 p. 100.

La fabrication électrolytique des perchlorates est si simple qu'il sera prochainement possible de les produire à des prix bien inférieurs aux prix actuels.

L'orateur veut exposer ici quelques recherches expérimentales sur l'action du courant sur les solutions de chlorate et de chlorures alcalins. Les facteurs principaux, qui jouent une rôle dans l'électrolyse, sont : 1° la concentration de l'électrolyte ; 2° la densité de courant ; 3° la température ; 4° la composition des électrodes.

Au sujet de l'influence de la concentration de l'électrolyte, il faut tenir compte de ce fait que la teneur varie pendant l'opération, celle du chlorate diminue, par contre, la teneur en perchlorate augmente. Même en maintenant constante la teneur en chlorate par une addition de sel frais, il y a néanmoins variation de la concentration par la formation de perchlorate qui prend part à l'électrolyse.

Les recherches ont été commencées par l'électrolyse d'une solution neutre de chlorate de sodium à 20 p. 100. La densité de courant était de 5 amp. : dm^2 et la température 20°. Par l'analyse des gaz et de l'électrolyte, on suivait les différentes variations. On trouvait ainsi que le rendement était au début de l'essai un peu inférieur à 70 p. 100, puis montait rapidement assez au-dessus de 70 p. 100 pour se tenir constant à cette valeur pendant plusieurs heures et enfin tomber rapidement pour une teneur minima en chlorate non encore décomposé.

En électrolysant dans les mêmes conditions de densité de courant et de température des solutions de différentes concentrations, on obtenait le même rendement qui ne tombait rapidement que pour les teneurs en chlorates inférieures à 8 p. 100.

On peut en conclure que la concentration en chlorate n'a aucune influence sensible sur le rendement (d'après la quantité d'électricité) tant qu'elle n'est pas inférieure à un minimum déterminé. De plus, le perchlorate formé, qui prend part aussi au transport du courant, est sans influence sur le rendement final.

Pour déterminer l'influence de la densité de courant, une solution de chlorate de sodium à 20 p. 100 était électrolysée à température cons-

---

comme la tension totale est maintenue constante, il en résulte une baisse de potentiel de l'amalgame et par suite une décomposition de celui-ci donnant lieu à un violent dégagement d'hydrogène. Le courant devient interrompu et il ne reprend sa valeur normale que lorsque réapparaît la surface métallique.

Le Dr Haber dit également avoir observé ces phénomènes par la réduction du nitrobenzol en solution alcoolique alcaline et d'autant plus qu'on s'approche davantage du potentiel de formation des bulles d'hydrogène. Il fait remarquer un changement d'état très singulier qu'éprouve l'électrode. Si, par exemple, on polarise fortement, en présence du nitrobenzol en solution alcaline alcoolique une cathode en nickel, il se dégage d'abord de l'hydrogène. Pour une intensité et une vitesse d'agitation constantes, ce dégagement diminue puis disparaît pendant que la cathode devient plus positive. Si on interrompt un instant le courant et qu'on ferme à nouveau, on trouve pour une plus petite intensité une valeur plus négative pour le potentiel de l'électrode. En choisissant une intensité égale, on trouve une différence de 0,1 volt environ dans le potentiel. Le courant étant maintenu constant, l'électrode devient lentement plus positive. Cet état d'instabilité de la cathode a été observé aussi avec le platine.

Le Dr Ostwald qui s'est occupé des phénomènes périodiques obtenus avec le chrome trouve la théorie de Kœlichen très plausible, mais incomplète, car elle n'explique pas la périodicité.

Le professeur Nernst fait remarquer que tous les phénomènes périodiques jusqu'ici connus peuvent se ramener à deux cas : inertie mécanique (dans le cas le plus simple, l'équation du pendule) et self-induction (dans le cas le plus simple, décharge oscillante d'un condensateur). Les oscillations électrochimiques peuvent-elles être ramenées à ces cas ? C'est la question que pose le professeur Nernst.

Koelichen explique de la façon suivante l'augmentation brusque de l'intensité qu'il a toujours constatée : le courant sépare le soufre à l'anode et l'entourage de celle-ci devient pauvre en soufre. Une couche d'anions chemine alors et vient dissoudre à l'anode le soufre déposé. On peut supposer que la vitesse de dissolution est très grande et ceci pourrait expliquer alors l'élévation rapide de l'intensité.

tante avec des densités de courant variables. Les résultats obtenus sont nettement représentés par les courbes de la figure 1. A la température de 0° C. pour une densité de 1 amp. : dm², le rendement en perchlorate atteint 50 p. 100. Il monte à 68, 78, puis enfin 90 p. 100 pour des densités de courant de 2,5, 5 et 10 amp. : dm².

A la température de 20° C. le rendement n'est que de 20 p. 100 pour une densité de courant de 1 amp. : dm². Il monte ensuite rapidement pour atteindre 70 puis 92 p. 100 aux densités de courant de 5 puis 20 amp. : dm².

Pour une température de 50° C., on trouve à peine 5 p. 100 de rendement à la densité de courant de 1 amp. : dm², puis 40 et 70 p. 100 pour 10 et 20 amp. : dm².

Enfin, à la température de 80°, le rendement atteint à peine 5 p. 100 dans l'intervalle de 1 à 10 amp. : dm² pour s'élever à 22 et 35 p. 100 aux densités 20 et 40 amp. : dm².

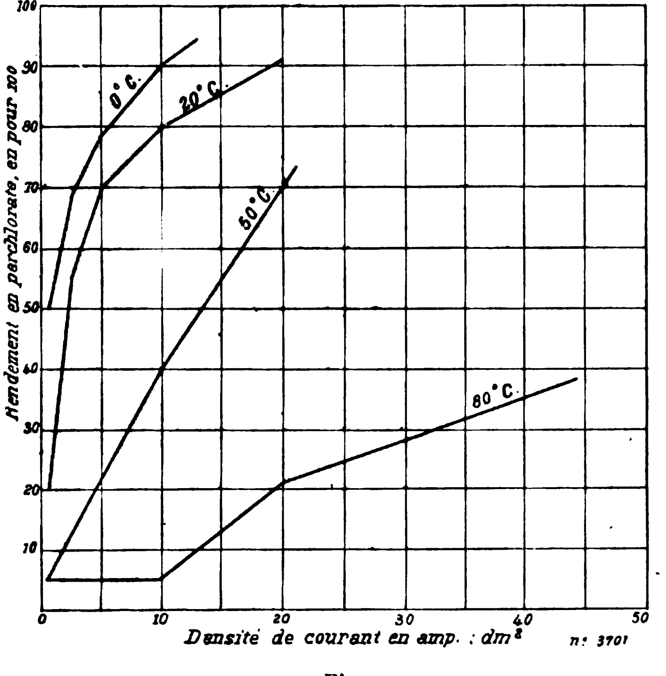


Fig. 1.

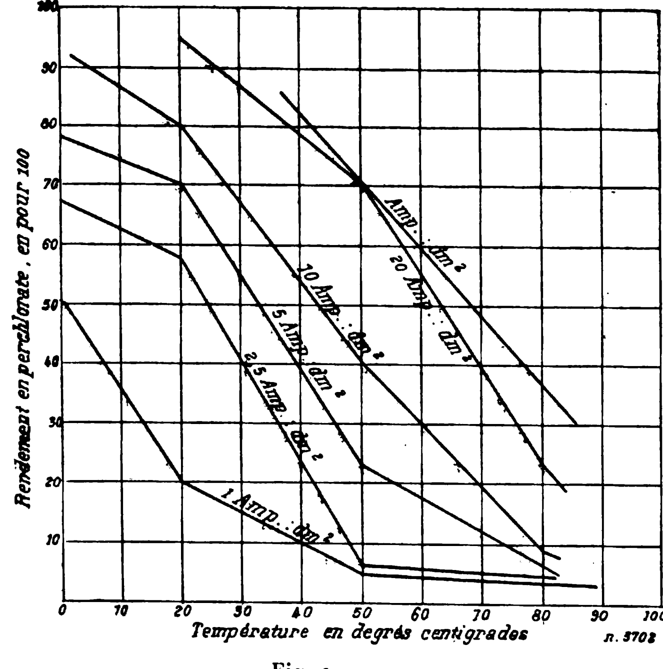


Fig. 2.

Il est à remarquer ici que la densité de courant était comptée sur les deux côtés de la surface de l'anode quoiqu'il n'y ait qu'un côté de cathode en regard.

Des valeurs ainsi trouvées on peut également déduire les courbes de variation du rendement avec la température, pour les différentes densités de courant. Ces courbes sont représentées en figure 2. La grande diminution de rendement entre 20 et 50° C. provient du fait que l'acide chlorique formé n'est pas stable à ces températures et se décompose.

En ce qui concerne les matières constituant les électrodes, il y a à distinguer entre les électrodes à surface polie et celles à surface rugueuse, comme l'ont déjà indiqué Elbs, pour la préparation électrolytique de l'acide persulfurique, et Haber, pour l'électrolyse de l'acide chlorhydrique étendu. Les surfaces polies permettent une action oxydante plus considérable.

Par exemple, l'électrolyse d'une solution de chlorate de sodium à 20 p. 100 avec une densité de courant de 5 amp. : dm² et une température de 20° C. s'effectue avec un rendement de 70 p. 100 dans le cas d'une anode en platine poli, et de 50 p. 100 seulement avec du platine platiné. A la température de 80° C., ces deux rendements baissent respectivement à 35 et 7 p. 100.

On peut observer très simplement ces diminutions de rendement en permutant les pôles de l'élément d'essai. Pendant l'électrolyse, en effet, l'anode est attaquée et du platine est transporté vers la cathode. En employant du

platine pur, la perte à l'anode atteint environ 0,08 gr par kilogramme de chlorate de sodium suroxydé quand on travaille en solution chaude. La perte est beaucoup plus faible en solution froide. Une partie de ce platine tombe sous forme spongieuse au fond du bac, l'autre se précipite sur la cathode.

On peut encore remarquer que par l'électrolyse d'une solution neutre de chlorate de sodium, il n'y a pour ainsi dire pas de réduction. Que la température soit basse ou élevée, jusqu'à 80° C. la teneur en chlorure et hypochlorite est si faible, si on a soin d'opérer sur une solution de chlorate pure, qu'on peut la négliger.

Dans le cas de l'électrolyse d'un chlorure alcalin, il peut être intéressant de connaître s'il y a des conditions sous lesquelles le perchlorate peut apparaître au début, ou s'il ne se forme qu'après transformation du chlorure en hypochlorite et chlorate.

L'électrolyse des chlorures alcalins peut être entreprise soit avec, soit sans diaphragme. Dans le premier cas, l'alcali caustique se rend à la cathode et le chlore à l'anode. Si ce chlore est amené dans l'alcali caustique, soit dans le compartiment cathodique, soit même en dehors, on obtient, comme avec le chlore fabriqué ordinairement, de l'hypochlorite et du chlorate. Ce procédé de Gall et Montlaur paraît être employé dans différentes fabriques.

L'électrolyse sans diaphragme a été effectuée par Œttel qui a trouvé comme conditions favorables de la formation du chlorate l'emploi de hautes densités de courant en solution alcaline. Il augmente le rendement en produisant à la cathode une couche de chaux qui, agissant comme diaphragme, doit empêcher la réduction de l'hypochlorite existant en solution.

Müller recommande, pour élever le rendement, l'addition de chromate ou de bichromate, qui crée également à la cathode un diaphragme de chromate d'oxyde de chrome.

L'auteur a électrolysé du chlorure de sodium à l'aide de ces différentes méthodes, mais n'a jamais pu observer la formation primaire de perchlorate, aussi longtemps qu'il se trouve encore du chlorure en quantité importante dans la solution. Et ceci, aussi bien à basse qu'à haute température.

Les résultats d'une série d'essais sont représentés graphiquement en figure 3.

Quatre bains contenant 7,5 litres chacun étaient disposés en tension ; l'intensité de courant employée était de 22,5 amp. correspondant à la densité de courant de 50 amp. : dm². L'anode était placée à une distance de 1 cm des deux cathodes en fer. La température montait rapidement de 80 à 90° C., puis se maintenait constante.

Le bain n° 1 renfermait une solution de chlorure de sodium pur additionnée de 1 p. 100 de

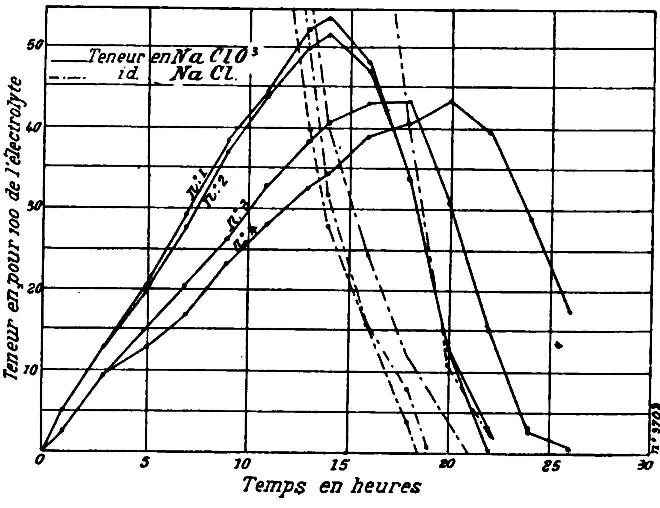


Fig. 3.

bichromate de sodium. Dans le n° 2, le bichromate était remplacé par 1 p. 100 de chlorure de calcium. Le bain n° 3 était du chlorure de sodium sans aucune addition ; et enfin dans le n° 4 on avait ajouté, d'après Œttel, 1 p. 100 de soude.

Comme on voit, le meilleur rendement est obtenu par le n° 1 et le plus mauvais par le n° 4. Après 14 heures d'électrolyse, les teneurs en grammes par litre de chlorate de sodium étaient respectivement 535, 517, 408 et 345 pour les bains 1 à 4.

Pendant la durée de l'électrolyse, la teneur en chlorure de sodium était toujours maintenue supérieure à 10 p. 100. Dans aucun des bains on ne constatait alors la formation de perchlorate.

En ne rajoutant plus ensuite de chlorure de sodium, la teneur baissait et les courbes qui jusque-là étaient sensiblement des droites, s'infléchissaient. Pour le n° 1, ce fait se produisait pour la teneur 5 p. 100 en chlorure de sodium.

Les rendements en chlorate des différents bains atteignaient alors

N° 1	80,2 p. 100	
2	77,5	»
3	61,2	»
4	56,8	»

Les teneurs en chlorure de sodium indiquées sur les courbes par les lignes interponctuées ont été prises à une échelle 10 fois plus grande ; de sorte qu'il faut lire, non pas 50 mais 5 p. 100 pour le n° 1, par exemple. Avec cette teneur pour ce bain la formation du perchlorate commence et se fait pendant quelque temps parallèlement à celle du chlorate. Celle-ci diminue ensuite et on remarque une chute de la courbe des teneurs en chlorate jusqu'à la teneur 1,6 p. 100.

Le chlorate était titré ici avec une solution acide de sulfate ferreux et on déduisait indirectement la teneur en perchlorate, du chlorate disparu.

Après vingt-deux heures d'électrolyse, les 535 gr de chlorate du bain 1 ont été entièrement transformés en perchlorate. Le rendement en perchlorate atteignait dans les quatre bains :

N° 1	61,9 p. 100	
N° 2	61,9	»
N° 3	48,9	»
N° 4	32,1	»

Dans tous les cas, le rendement en chlorate se maintient constant depuis le commencement de l'électrolyse tant que la teneur en chlorure de sodium est supérieure à 10 p. 100. La transformation du chlorate en perchlorate survient quand cette teneur baisse respectivement à 5, 4, 1,2 et 0,4 p. 100 pour les bains 1, 2, 3 et 4. Cette transformation se produit donc, ainsi qu'on le voit, avec une teneur en chlorure d'autant plus élevée que le rendement en chlorate est meilleur.

La teneur en alcali libre atteignait, pendant l'électrolyse, les valeurs suivantes pour les quatre bains :

N° 1	4,0 gr par litre	
N° 2	2,8	»
N° 3	4,0	»
N° 4	0,9	»

On se rappelle que les bains 1, 2 et 3 étaient neutres au début. L'alcalinité provient du dégagement de chlore au début de l'opération.

Pendant l'électrolyse et dans tous les cas, les phénomènes se passent en solution alcaline autour de la cathode et en solution acide autour de l'anode. Dès que l'alcali rencontre le chlore, il se forme de l'hypochlorite puis du chlorate. Celui-ci s'électrolyse et le ClO^3 déchargé aide à l'oxydation de nouvelles quantités d'hypochlorite et produit autour de l'anode une couche acide. Dans cette couche acide se forment des oxydations complètes, exception faite d'une petite quantité d'hypochlorite qui se produit par neutralisation de ClOH par la lessive de soude et se décompose par suite de la température élevée de l'électrolyse, en chlorate et chlorure.

Il est compréhensible que l'alcalinité des bains est dépendante de la distance des électrodes, de leur forme et de leur situation. Lorsqu'on a une grande quantité de liquide, et quand les électrodes sont très voisines, il ne se produit aucun dégagement de chlore ; il y a réaction immédiatement avec la soude et le bain reste neutre. Au contraire, si les électrodes sont très écartées, le chlore se dégage jusqu'à ce que la solution ait atteint une alcalinité minimum déterminée. A partir de ce moment seulement il entre en combinaison pour donner l'hypochlorite et le chlorate.

Le tableau suivant montre quelles étaient les teneurs en hypochlorite pendant les deux périodes : formation du chlorate et formation du perchlorate.

Numéros des bains	Teneurs en grammes par litre — Période de formation du chlorate	Teneurs en grammes par litre — Période de formation du perchlorate
1	4,9	0
2	10,8	0
3	14,2	1,2
4	8,0	1,2

Pendant la première période, cette teneur reste constante. Elle tombe pendant la deuxième [1].

Sur les bobines d'induction, par **Fr. Klingelfuss**, de Bâle. *Zeitschrift fur Elektrochemie*, t. VII, p. 642, 23 mai 1901.

L'auteur s'est occupé d'établir des bobines

(1) *Discussion.* — Dans la discussion qui suit cette communication, Engelhardt fait remarquer que la priorité de l'addition de chromate pour la fabrication des chlorates et hypochlorites, revient au Dr Paul Imhoff qui a pris son brevet avant l'apparition du travail de Müller.



donnant de meilleures actions que celles connues jusqu'ici. Deux bobines sont présentées à l'assemblée, l'une avec noyau de fer droit pour une longueur d'étincelles de 1 m, l'autre avec noyau fermé pour étincelles de 35 cm. La première donne avec un interrupteur électrolytique de Wehnelt un véritable courant d'étincelles entre les deux pôles. Cette bobine comprend deux enroulements primaires absolument séparés, l'un de 140 spires pour l'interrupteur électrolytique, l'autre de 800 spires pour l'interrupteur à mercure.

Le circuit secondaire comprend 86 000 spires et est enroulé par un procédé breveté, sans emploi de bobines partielles. Les inconvénients de ces dernières sont une utilisation défavorable de l'emplacement et une mauvaise répartition du potentiel, des différences de potentiel élevées dans des spires voisines occasionnant de grandes pertes à l'intérieur de l'enroulement.

En mesurant la tension des étincelles d'après la tension primaire et le rapport des enroulements, l'auteur trouve d'abord qu'elle dépend de la forme plus ou moins pointue des pôles de décharge. Pour une longueur d'étincelles donnée, la tension varie proportionnellement au champ magnétique. Ainsi pour une longueur d'étincelles de 10 cm, on trouve 110 000 volts avec un courant magnétisant de 2 ampères et 600 000 volts quand ce dernier atteint 17 ampères. Par l'emploi des mêmes pôles et de la même capacité pour le condensateur en dérivation sur l'interrupteur, voici comment varient dans l'air les tensions avec les longueurs d'étincelles.

Longueur d'étincelle, en centimètres	10	20	30	40	50
Tension correspondante, en volts	107 500	155 900	182 700	220 400	268 800
Longueur d'étincelle, en centimètres	60	70	80	90	
Tension correspondante, en volts	322 500	387 000	473 000	618 100	

Cette série de mesures montre qu'au-dessus de 50 cm la tension croît plus rapidement que la longueur d'étincelle, mais sans proportionnalité.

Avec la bobine à noyau fermé, on a recherché l'influence de la grandeur du condensateur. Les étincelles obtenues ici atteignaient l'épaisseur d'un doigt ; en les soufflant on les décomposait en couches parallèles qui, à égale vitesse de l'air, étaient d'autant plus espacées que la capacité du condensateur était plus grande. Les couches correspondent aux décharges partielles qui sont produites par les oscillations dans le condensateur et par suite de la très petite résistance que possèdent les spires de l'enroulement secondaire. Ces oscillations doivent suivre nécessairement les variations du champ magnétique. On obtient alors la relation $K = \frac{I_1 \cdot 10^6}{\pi p \Delta_1}$ dans laquelle K est la capacité du condensateur, I_1 l'intensité en ampères du courant magnétisant, p le nombre de périodes par seconde et Δ_1 la tension en volts au condensateur. Comme les grandeurs K, I_1 et Δ_1 peuvent être mesurées, on en déduit la valeur de p.

On trouve ainsi que le temps périodique T varie proportionnellement à la racine carrée de la capacité pour des intensités I_1 comprises entre 7,6 et 25,5 ampères et des capacités K, de 0,08 à 2,4 microfarads.

L'auteur montre encore finalement comment on peut atteindre une longueur maxima d'étincelle sans élever la tension d'une manière dangereuse pour l'isolation et l'enroulement, lorsque $\frac{I^1}{pK}$ est maintenu constant [1].

Sur les phénomènes électrolytiques à la surface de séparation de deux dissolvants, par **E. H. Riesenfeld**, de Gœttingue. *Zeistchrift für Elektrochemie*, t. VII, p. 645, 23 mai 1901.

L'auteur a recherché ce qui arrive quand dans un conducteur de deuxième classe, l'électrolyte passe d'un solvant à un autre.

A cet effet, l'extrémité inférieure d'un tube

[1] *Discussion*. A une question du Président, Klingelfuss répond que l'appareil n'est pas seulement construit en vue de la démonstration, mais qu'il peut servir à d'autres usages : production de très hautes tensions, télégraphie sans fils, rayons de Röntgen, etc.

Comme on demande aussi si ces étincelles sont dangereuses, l'orateur répond qu'elles sont moins dangereuses que douloureuses, et qu'il lui est arrivé d'en recevoir une sur l'épaule.

Le danger dépend d'ailleurs, comme on sait, de l'intensité du courant, car pour une certaine densité de courant il se produit une décomposition du sang qui cause la mort.



en U (fig. 1) était remplie d'un premier dissolvant comme le phénol, puis recouvert d'une couche d'un deuxième comme l'eau par exemple ; on

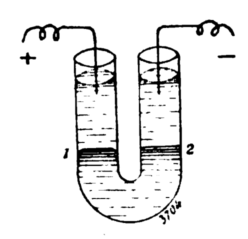


Fig. 1.

répartissait comme électrolyte K I, par exemple, de façon qu'il y ait équilibre. Deux électrodes en platine étant reliées à une batterie, un courant électrique traversait le tube en U.

A l'intérieur des dissolvants, il ne peut résulter aucune variation de concentration, car à chaque moment, dans une section, il entre autant d'ions qu'il en part. Il n'en est pas de même aux surfaces de séparation. Si on appelle n_1, le nombre de transport de l'ion K dans l'eau et n_2 celui relatif au phénol (dans l'exemple cité plus haut) et qu'on suppose le passage de 96 540 coulombs dans le sens indiqué sur la figure 1, il arrivera à la surface 1 n_1 mol-gr. K et $(1 - n_1)$ mol-gr. I ; il partira d'autre part n_2 mol-gr. K et $(1 - n_1)$ mol-gr. I. Il restera donc $(n_1 - n_2)$ mol-gr. K et $(n_1 - n_2)$ mol-gr. I soit $(n_1 - n_2)$ mol-gr. K I. Un raisonnement semblable montre qu'il restera $(n_2 - n_1)$ mol-gr. KI à la surface 2. Il y a donc augmentation de concentration à une surface de séparation, et diminution à l'autre, ces deux variations étant égales. Dans chaque cas, c'est la vitesse de migration des ions qui détermine la surface d'accroissement de concentration et celle de dimunition. D'un autre côté, l'observation du sens de la variation de concentration peut servir à déterminer le rapport des vitesses de migration.

L'orateur fait à ce propos la démonstration sur son appareil en utilisant comme électrolytes des solutions colorées d'iode dans l'iodure de potassium avec les deux dissolvants eau et phénol et il montre les variations qui se produisent dans les colorations. On peut en conclure ici que le nombre de transport n_2 dans le phénol est plus grand que celui n_1 dans l'eau. D'autres électrolytes comme le bichromate de potassium donnent au contraire $n_1 > n_2$.

Le phénol s'approprie bien à ces recherches, car de tous les corps examinés, c'est lui qui, après le furfurol possède la plus petite résistance. Cependant une petite colonne de 1 à 2 cm dans un tube de 1 cm de diamètre a une résistance d'environ 60 000 ohms de sorte qu'une tension de 240 volts est nécessaire pour avoir ici 4 milliampères.

On peut aussi, en appliquant la loi de Fick $\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dx^2}$, calculer la grandeur de la variation de concentration. On obtient ainsi les résultats représentés par les courbes de la figure 2 sur lesquelles on a porté en ordonnées les concentrations de l'électrolyte, et en abscisses les distances au point O qui correspond à la surface limite.

La concentration à la surface limite augmente avec le temps et proportionnellement à la racine carrée de celui-ci.

Si on prend comme ordonnées les quantités qui diffusent pendant l'unité de temps, au lieu de la concentration, on obtient les courbes de la figure 3. Celles-ci montrent comme résultat im-

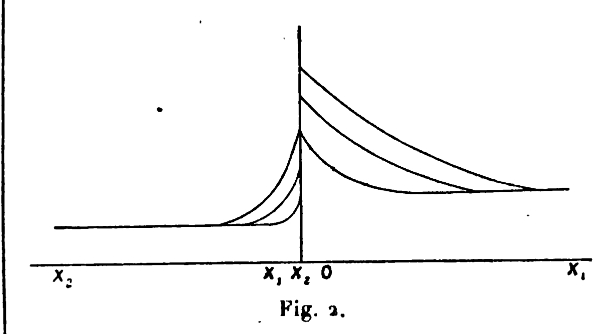


Fig. 2.

portant que les quantités diffusant de la surface limite vers les deux côtés sont indépendantes du temps. En appelant m_1 et m_2 ces quantités rela-

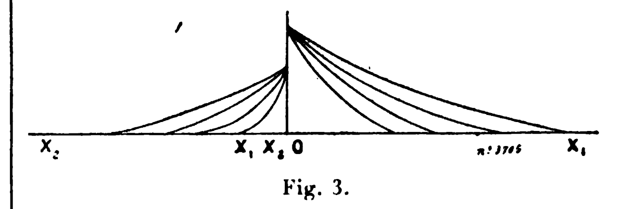


Fig. 3.

tives aux solutions 1 et 2 ; D_1 et D_2 les coefficients de diffusion et k le coefficient de partage de l'électrolyte entre les deux solutions, on a

$$\frac{m_1}{m_2} = k \sqrt{\frac{D_1}{D_2}}$$

Dans le cas de l'iodure de potassium avec l'eau et le phénol, on a

$$k = 12 \text{ et } \sqrt{\frac{D_1}{D_2}} = 3,$$

de sorte qu'on peut négliger m_2 et dire que la variation totale de concentration se produit dans la couche d'eau où on peut la constater.

Comme on vu ci-dessus, par le passage de 96 540 coulombs, l'augmentation de concentration à la surface de séparation voisine de la cathode est $(n_2 - n_1)$ équivalents en gr. et la diminution à la cathode même $(1 - n_1)$ équivalents en gr. Si on sépare après le passage du courant la solution cathodique hydratée de celle du phénol, la variation totale de sa concentration sera une baisse de $(1 - n_2)$ équivalents en gr. De cette manière, on peut déterminer immédiatement le facteur de transport de KI dans le phénol en mesurant simplement la variation de concentration à la cathode.

Pour vérifier ces considérations théoriques, l'auteur a mesuré ainsi le facteur de transport dans des conditions différentes. En faisant varier la concentration de KI dans l'eau de 0,029 *n* à 0,13 *n*, il trouva comme valeurs 0,208 ; 0,193 ; 0,182.

En variant la longueur de la couche de 3 à 10 cm., les valeurs devenaient 0,181 ; 0,198 ; 0,185.

Enfin, en augmentant de 2 à 4 heures le temps d'électrolyse pour un même nombre d'ampère-secondes, il obtenait 0,170 ; 0,193 ; 0,180.

La moyenne de ces valeurs étant 0,19, on a pour le facteur de transport de KI dans le phénol 1 — 0,19 = 0,81.

Sur les diaphragmes, par le professeur Dr **M. Le Blanc**, de Carlsruhe. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VII, 653, , 30 mai 1901.

Dans la précédente assemblée générale, l'auteur a présenté des diaphragmes et des vases possédant une très faible résistance intérieure et s'appropriant très bien à l'électrolyse des solutions acides et particulièrement à la régénération de l'acide chromique [1]. Il a trouvé depuis, aidé du Dr Alic, une nouvelle substance inattaquable aux acides et présentant une résistance électrique moitié moindre que la première ; mais qui est cependant plus difficile à fabriquer et dont on ne peut faire d'aussi grandes plaques et d'aussi grands vases qu'avec la première.

La mesure de résistance était effectuée en déterminant d'abord la résistance intérieure entre deux électrodes plongées dans une solution d'acide sulfurique à 10 p. 100, puis en répétant l'expérience dans les mêmes conditions, mais en plaçant entre les deux électrodes le diaphragme de mêmes dimensions que celles-ci. On trouvait ainsi que pour une densité de courant de 0,03 ampère : cm^2, la chute de tension provoquée par une plaque de 5 mm d'épaisseur de la nouvelle substance (II) était de 0,17 volt, tandis qu'elle atteignait 0,40 volt avec l'ancienne (I).

Comme composition chimique, cette dernière renfermait 75 p. 100 SiO^2 et 25 p. 100 Al^2O^3. Dans la nouvelle substance, 2 p. 100 d'alumine sont remplacés par un oxyde alcalin. La matière de Pukall, dont la résistance mesurée par Ehrhardt et Metzger est voisine de celle de la substance I, a comme composition 70 à 71 p. 100 SiO^2; 27 à 28 p. 100 Al^2O^3 et environ 1,5 p. 100 d'oxyde alcalin.

L'influence de la cuisson sur la résistance intérieure de la matière produite a été reconnue nulle après essai d'une douzaine d'échantillons. Cependant on trouve que, à égalité de résistance intérieure, certains diaphragmes laissent passer pendant le même temps jusqu'à 30 fois plus d'acide chromique que d'autres, d'égales dimensions. Cette trop grande porosité peut être atténuée sans augmenter la résistance intérieure en plongeant la plaque dans une solution de verre soluble de concentration déterminée et mélangée d'un sel soluble dans l'eau, puis en traitant par un acide après séchage.

On pouvait supposer à priori que la porosité et la résistance électrique devaient être inversement proportionnelles. Pour comparer à ces deux points de vue les trois substances mentionnées plus haut, on a fait avec chacune d'elles des cylindres ayant en moyenne 154 mm de hauteur (152,5 à 155,5) ; 69 mm de diamètre extérieur (68 à 69,5) et d'épaisseur variable de 4 à 5,5 mm en différents points.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXVI, p. 184, 2 février 1901.

Avec 6 cylindres de ces substances, on procédait d'abord à des recherches de diffusion. A cet effet, ils étaient remplis jusqu'à égal niveau d'une solution (350 cm³ environ) de chlorure de sodium à 5 gr pour 100 cm³, puis placés sur un trépied en verre, dans un vase contenant 3 200 cm³ d'eau pure, le niveau étant le même dans les deux vases. On recouvrait de plaques de verre pour empêcher l'évaporation, puis on laissait le tout au repos dans une chambre à température constante. Après 46 heures, la contenance en grammes de NaCl par litre était devenue la suivante, pour le liquide du vase extérieur

	Matière II	Matière I	Matière Pukall
Cylindre *a*. . .	3,69 gr	2,10 gr	1,76 gr
» *b*. . .	3,72 »	1,79 »	1,69 »

Dans les deux premiers cylindres, le niveau avait baissé de 10 à 15 mm et seulement de 2 mm dans le cylindre Pukall. En répétant l'expérience avec les deux premiers en abaissant au début de 12 à 15 mm le niveau dans le cylindre, on obtenait les valeurs suivantes :

	Matière I	Niveau inégal	Niveau égal
Après 23,5 heures	Cylindre *a*	1,12 gr	1,21 gr
	Cylindre *b*	0,91 »	0,95 »
	Matière II	Niveau inégal	Niveau égal
Après 22 heures	Cylindre *a*		
	Cylindre *b*	1,90 gr	2,23 gr

On peut donc dire que la matière II est beaucoup plus poreuse que les deux autres.

Pour la mesure des résistances, on employait la méthode de Kohlrausch en prenant comme électrodes des cylindres de plomb concentriques et comme électrolyte de l'acide sulfurique centinormal. En ramenant à l'unité la valeur trouvée pour la résistance du cylindre de la matière II, on obtenait les valeurs suivantes pour les résistances comparatives :

	Matière II	Matière I	Matière Pukall
Cylindre *a*. . .	1	3,14	4,09
» *b*. . .	1	4,19	3,96

Ici encore on remarque la grande analogie entre les matières I et Pukall, pendant que II présente une résistance électrique bien inférieure, comme on pouvait s'y attendre d'après la porosité.

Dans les diaphragmes employés ici, la finesse des pores était très grande et on ne pouvait les distinguer à l'œil nu ; au contraire, les diaphragmes beaucoup plus poreux, quoique d'égale et même de plus grande résistance électrique, présentaient des pores très gros. L'explication de cette différence peut être donnée par les considérations suivantes :

La résistance électrique est inversement proportionnelle à la section et ceci dans des limites très grandes puisque von Beetz [1] a vérifié cette loi pour des tubes capillaires de 0,028 mm de diamètre.

On sait, d'autre part, d'après la loi de Poiseuille que la quantité de liquide traversant un tube capillaire pendant l'unité de temps, n'est pas proportionnelle à la section, mais au carré de cette section.

On peut considérer un diaphragme comme un système de capillaires; or, à égalité de section de pores et par suite à égalité de résistance électrique; les diaphragmes à pores fins auront, d'après ce qui précède, une bien moindre porosité que ceux à pores plus gros.

En pratique, dans les cas où on veut éviter le mélange des solutions anodique et cathodique, on devra faire usage de diaphragmes à pores fins.

Les quantités d'eau respectivement absorbées par 1 dm³ des matières ci-dessus étaient les suivantes

Matière II	Matière I	Matière Pukall
586 cm³ H^2O	314 cm³ H^2O	374 cm³ H^2O

calculées par la différence des poids de matière séchée à l'air, puis trempée vingt-quatre heures dans l'eau et égouttée une 1/2 minute. La matière Pukall avait une résistance électrique un peu plus faible que celle de la matière I. La résistance électrique est, comme on voit, d'autant plus faible que la quantité d'eau absorbée est plus grande.

En mesurant la quantité d'eau s'écoulant de chacun des vases poreux cylindriques décrits ci-dessus, préalablement saturés d'eau avant remplissage, on a trouvé après vingt-trois heures, 250 cm³ pour II ; 50 cm³ pour I, et 330 cm³ pour le vase Pukall.

(1) WIEDEMANN. *Elektricität*, t. I, p. 290.

La porosité, mesurée de cette manière, n'offre donc pas de relation avec la résistance électrique.

Sur le chrome électrolytique, par le Dr **B. Neumann,** de Darmstadt. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VII, p. 656, 30 mai 1901.

Dans cette communication, l'auteur a en vue d'indiquer la préparation du chrome par électrolyse des solutions hydratées, et les propriétés du métal ainsi obtenu.

C'est Bunsen qui a montré le premier, en 1850, que le chrome pouvait être séparé des solutions de sels de chrome, dans certaines conditions de densité de courant et de concentration. Son appareil consistait en un creuset de charbon servant d'anode et rempli d'acide chlorhydrique ; dans ce creuset on plaçait un vase poreux qui contenait avec la cathode en platine, une solution de chlorure de chrome. Il obtenait ainsi, par électrolyse, de petites feuilles de chrome.

Dans ces cinquante dernières années, rien de nouveau n'a paru sur l'électrolyse du chrome, exception faite de quelques revendications de brevets pris depuis deux ou trois ans. Sans vouloir entrer dans la description de ceux-ci, l'auteur fait remarquer qu'il est très difficile d'obtenir le chrome en partant des solutions composées de ce métal, comme il est le plus généralement indiqué. Aussi dans les recherches suivantes qu'il a effectuées a-t-il pris des solutions simples de sels de chrome. Ces dernières étaient placées dans le compartiment cathodique, pendant qu'à l'anode se trouvaient des acides minéraux ou des solutions salines. Comme cathode on utilisait le charbon ; le chrome adhère aussi sur des métaux comme le platine, le laiton, le plomb, etc. On employait comme anode, selon la solution, le plomb, le platine ou le charbon. Il est important d'agiter fortement la solution cathodique parce que, par suite des hautes densités de courant utilisées, l'appauvrissement de celle-ci se fait très rapidement autour de la cathode et au lieu de déposer du chrome, on n'obtient plus que de l'oxydule.

Dans les recherches suivantes, exécutées par Georges Glaser, on a d'abord déterminé l'influence de la densité de courant. Les solutions de chlorure de chrome utilisées contenaient 100 gr de chrome métallique par litre. Le tableau suivant donne les résultats obtenus à la température ordinaire.

DENSITÉ de courant en amp.: dm^2	PRODUIT SÉPARÉ	RENDEMENT en p. 100
0,9	Oxydule.	
1,8	Métal au commencement, et ensuite oxydule.	
3,6	Métal mélangé d'oxydule.	
4,5	Couche métallique mince sur laquelle se dépose ensuite de l'oxydule.	5,4
7,2	Métal avec quantités moindres d'oxydule.	23,4
9,1	Métal pur.	38,4
13,7	Métal pur, avec quelques cristaux.	38,0
18,2	Métal pur, en grande partie cristallisé.	38,6

Si on fait varier la température, en maintenant constante la densité de courant, on trouve que le dépôt reste bon jusqu'à 50° C environ. Pour des températures plus élevées, le chrome se sépare sous forme de poudre noire. Le rendement n'augmente que d'une manière insensible avec la température.

Les variations de concentration influent d'une façon semblable à celles de la densité du courant, ainsi qu'on le constate d'après le tableau ci-dessous.

CONCENTRATION EN grammes de chrome par litre	PRODUIT SÉPARÉ	RENDEMENT en p. 100
26	Traces d'oxydule, fort dégagement d'hydrogène.	
53	Oxydule et hydrogène.	
79	Métal au commencement, oxydule ensuite.	
105	Métal pur.	38,4
135	Métal pur.	49,0
158	Métal pur.	56,6
184	Poudre métallique, mélangée de chlorure de chrome.	
210	Poudre métallique, mélangée de chlorure de chrome.	

Dans l'exemple cité, le rendement maximum atteint seulement 57 p. 100 ; cependant il peut



s'élever jusqu'à 89,5 p. 100 en changeant la solution anodique.

Comme on voit, pour obtenir un dépôt métallique utilisable, il faut se tenir dans des limites déterminées de concentration, densité de courant et température.

Les solutions de sulfate et d'acétate se comportent comme celles de chlorure; seules les valeurs de la concentration et de la densité de courant diffèrent. Pour les solutions de sulfate, la meilleure concentration est 65 à 85 gr Cr par litre et la densité de courant à employer, 13 à 20 ampères par dm², le rendement atteint 84,6 p. 100. Dans les meilleures conditions de température, le rendement peut s'élever à 86,2 p. 100.

Avec les solutions d'acétate, on n'obtient que des dépôts défectueux et un rendement très faible.

En ce qui concerne les propriétés du chrome électrolytique, il faut remarquer que le dépôt a comme celui de nickel une tendance à se détacher en petites feuilles minces. Mais on peut obtenir sur les cathodes des enduits polis de plusieurs millimètres d'épaisseur. On peut obtenir aussi des excroissances cristallines si on fait tourner rapidement la cathode. Sur la cassure de morceaux épais, unis, on reconnaît nettement une structure feuilletée provenant de minces pellicules d'oxydule interposé. Le métal est gris clair, à éclat métallique, et ressemble fortement à l'acier poli. En couche mince, il paraît argentin. Le chrome électrolytique est dur et cassant, sa pureté est très grande; il ne renferme que 0,1 à 0,2 p. 100 de fer, tandis que le chrome du commerce titre en moyenne 97 à 98 p. 100 seulement.

Le chrome électrolytique se présente aussi sous deux états différents : actif et passif. Il est actif quand il sort du bain; mais laissé à l'air, il devient de plus en plus passif. On le ramène facilement à l'état actif par la méthode de Hittorf.

L'auteur a également recherché le potentiel du chrome pur actif dans certaines conditions. Les valeurs absolues déterminées à l'aide de l'électrode normale au mercure sont pour différents sels

Sulfate	+ 0,258
Chlorure	+ 0,241
Acétate	+ 0,239.

La mesure n'a pas été effectuée dans le nitrate, car, dans cette solution, le métal prend immédiatement un état plus ou moins passif. Comme l'a prévu Hittorf, le chrome se place entre le zinc et le cadmium dans la série des potentiels. Pour ces trois métaux on obtient les valeurs suivantes :

	Sulfate	Chlorure	Acétate
Zinc.	+ 0,524	+ 0,503	+ 0,522
Chrome	+ 0,258	+ 0,241	+ 0,239
Cadmium. . . .	+ 0,162	+ 0,174	

Le point de décomposition des solutions a été également déterminé, mais pas avec les solutions normales, car avec elles on n'obtient pas le chrome métallique. Pour la solution de sulfate cinq fois normale, ce point est atteint à 1,898 volt; avec la solution de chlorure huit fois normale, la décomposition se produit à 1,685 volt. En pratique, on a besoin d'une tension au moins double (1).

Sur la réciprocité de l'influence des solubilités, d'après les recherches de N. T. Wilsmore, par le Dr **V. Rothmund**, de Gœttingue. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VII, p. 675, 30 mai 1901.

D'après la loi de Dalton, appliquée aux solutions étendues, la solubilité d'une substance quelconque ne devrait pas être influencée par l'addition d'une autre substance, en supposant

(1) *Discussion.* — Le Dr H. Goldschmidt signale qu'avant de séparer le chrome par voie aluminothermique, il a essayé la méthode de Bunsen. Il employait principalement des solutions chlorhydriques ou acétiques, mais ces dernières donnaient de plus mauvais résultats. Comme cathode, il se servait d'un cylindre en fer animé d'un mouvement de rotation rapide autour de son axe; les anodes étaient en charbon de cornue; le liquide cathodique renfermé dans le vase poreux était soumis à une agitation énergique. Les densités de courant atteignaient 10 à 40 ampères par dm² et on obtenait ainsi des couches de quelques millimètres d'épaisseur de chrome métallique très cassant et se détachant facilement; ce dépôt n'était jamais entièrement exempt d'oxygène. Mais le procédé ne fut pas appliqué, parce qu'il nécessite des appareils trop compliqués et une dépense élevée de courant.

Le Dr Goldschmidt montre également les avantages qu'on pourrait obtenir si on parvenait à effectuer de bons dépôts de chrome, car ce métal est plus inaltérable à l'air que le nickel et même que le cobalt.

Le Dr Ostwald craint cependant que même si on parvenait à vaincre les difficultés actuelles et à chromer le

qu'aucune action chimique n'ait lieu. Cependant, des travaux expérimentaux ont montré que la solubilité d'un non électrolyte dans l'eau varie (diminue presque toujours) par l'addition d'un sel, la diminution étant souvent très considérable. Ce phénomène présente une grande importance en électrochimie, car il montre que les ions n'agissent pas, dans toutes les circonstances, comme les molécules. Il doit être lié vraisemblablement aux phénomènes anormaux qui se produisent dans les électrolytes forts.

L'auteur étudie ce phénomène au point de vue thermodynamique, il appelle L_1 et l_1 les solubilités du non électrolyte dans l'eau et dans la solution saturée de l'électrolyte ; L_2 et l_2, les solubilités de l'électrolyte dans l'eau et dans la solution saturée du non électrolyte.

En laissant baisser la concentration du non électrolyte, de L_1 à l_1, on obtient le travail

$$L_1 \text{ RT } \log_{\text{nép.}} \frac{L_1}{l_1},$$

D'autre part, en laissant augmenter la concentration du sel, on dépense le travail

$$n \text{ RT} i \log_{\text{nép.}} \frac{L_2}{l_2},$$

n étant la quantité de sel et i le facteur de Van't Hoff qui peut être considéré comme constant dans les limites de concentration l_2 et L_2.

Ces deux travaux sont égaux, et comme on a

$$l_2 = \frac{n}{\left(\frac{L_1}{l_1}\right)} \quad \text{ou } n = \frac{l_2 L_1}{l_1},$$

il vient

$$L_1 \text{ RT } \log_{\text{nép.}} \frac{L_1}{l_1} = \frac{l_2 L_1}{l_1} i \text{ RT} \log_{\text{nép.}} \frac{L_2}{l_2}$$

ou

$$l_1 \log_{\text{nép.}} \frac{L_1}{l_1} = i \, l_2 \log_{\text{nép.}} \frac{L_2}{l_2}$$

Wilsmore a vérifié expérimentalement cette loi à l'Institut de chimie physique de Gœttingue. Avec le phénol comme non électrolyte, et le sulfate de potassium comme électrolyte, il a trouvé

$$L_1 = 0{,}893, \quad l_1 = 0{,}493,$$
$$L_2 = 0{,}671, \quad l_2 = 0{,}534,$$
$$\text{et} \quad i = 2{,}33$$

D'où

$$l_1 \log_{10} \frac{L_1}{l_1} = 0{,}127 \text{ et } i \, l_2 \log_{10} \frac{L_2}{l_2} = 0{,}121.$$

valeurs qui montrent l'exactitude de la formule précédente [1].

L. Jumau.

fer, au contact de ce métal le chrome ne redevienne actif.

Une assez longue discussion s'engage sur le chrome actif et le chrome passif (voir déjà à ce sujet *L'Éclairage Électrique*, t. XXVI, p. 27, 5 janvier 1901), discussion à laquelle prennent part MM. Müller, Neumann, Abegg, Ostwald et Haber.

[1] *Discussion.* — Le professeur Abegg dit qu'il croit qu'on peut actuellement envisager la solution comme une combinaison partielle du dissolvant avec la matière dissoute. Il s'appuie pour cela sur les faits connus que Beckmann a montrés : par exemple, les différentes solutions d'iode renferment celui-ci à l'état de molécules égales I^2; or, les dissolvants n'ayant aucune absorption, les solutions absorbent différemment la lumière. On peut en conclure qu'il y a combinaison (hydrate, alcoolate, etc.) entre l'iode et le dissolvant.

Le Gérant : C. NAUD.



L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

MATÉRIEL A COURANT CONTINU DE M. FR. KRIZIK, DE PRAGUE.

M. F. Krizik avait exposé comme exemples de machines à courant continu un type de chacune des séries de dynamos étudiées et construites par M. Fischer-Hinnen.

Les dynamos à courant continu Fr. Krizik sont divisées en deux séries, une série bipolaire comprenant les types de 1 à 20 kilowatts et une série multipolaire se rapportant aux types de 27 à 155 kilowatts.

Dynamo de 65 kilowatts. — Comme exemple de dynamo de cette dernière série, nous décrirons le type de 65 kilowatts représenté sur la photographie de la figure 1.

Cette dynamo a une puissance de 65 kilowatts sous une tension de 125 volts, son débit est par suite de 520 ampères.

Sa vitesse est de 550 tours par minute.

Les figures 2, 3 et 4 montrent des coupes et vues partielles de cette machine.

Inducteurs. — La carcasse inductrice coulée en deux parties est constituée par une caisse cylindrique en fonte, portant les noyaux inducteurs. La partie inférieure est venue de fonte avec le bâti et les paliers.

Des évidements sont ménagés au droit des pôles de façon à alléger la carcasse.

Le diamètre extérieur de la carcasse inductrice est de 136 cm et sa largeur de 42 cm. Le diamètre intérieur est de 104 cm.

Les noyaux polaires, venus de fonte avec la carcasse, ne comportent pas d'épanouissements. Ils ont une section carrée de 32 cm de côté.

Le diamètre d'alésage est de 62 cm et l'entrefer de 5 mm.

L'enroulement inducteur est en dérivation ; les bobines inductrices sont enroulées sur des carcasses en tôle retenues après les pôles par 4 vis. Chaque bobine comporte 620 spires de fil de 3,4 mm de diamètre.

Les 4 bobines sont montées en série et la résistance du circuit ainsi formé est de 8,32 ohms à chaud.

Le poids de cuivre utilisé sur l'inducteur est de 325 kg.

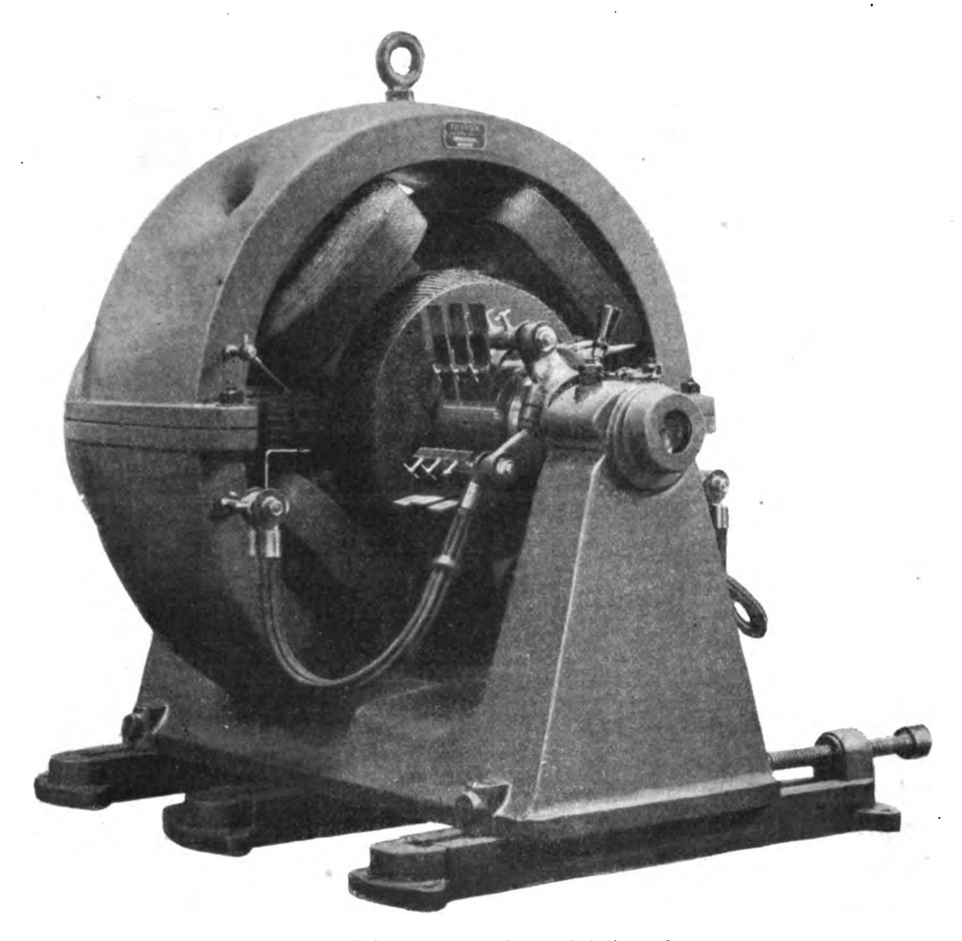


Fig. 1. — Dynamo de 65 kilowatts, de M. F. Krizik de Prague.

Induit. — L'induit est porté par un croisillon en fonte dont les bras viennent s'engager dans des rainures pratiquées dans le noyau.

Celui-ci est serré entre deux disques de tôle par des rivets non isolés.

Du côté opposé au collecteur est disposé un anneau de soutien destiné à supporter l'enroulement. Cet anneau est réuni par des bras à un second anneau fixé sur le moyeu au moyen de vis.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 61 cm et sa largeur de 32 cm.

La hauteur radiale du noyau induit est de 12,25 cm, y compris la hauteur des dents qui est de 21 mm, ce qui correspond à un diamètre intérieur de 36,5 cm.

L'enroulement induit du type série-parallèle avec 4 circuits en quantité est réparti dans 98 rainures. Chaque rainure contient deux conducteurs ronds, de 7,8 mm de diamètre, et



les 196 conducteurs dont les extrémités sont, repliées sur gabarit constituent 98 sections d'une seule spire aboutissant aux 98 lames du collecteur.

Les extrémités des conducteurs sont, du côté opposé au collecteur, soudées dans des agraffes.

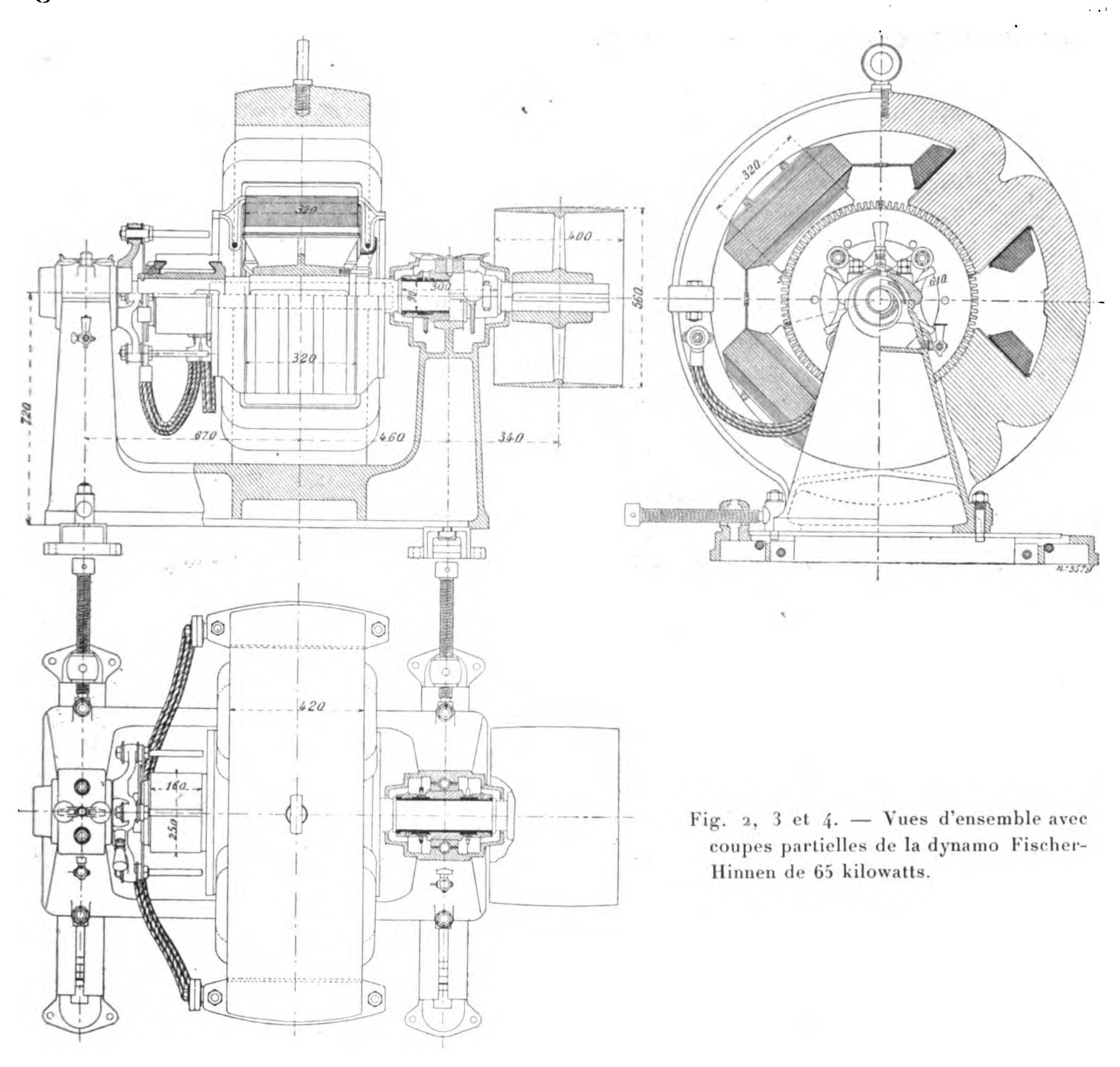


Fig. 2, 3 et 4. — Vues d'ensemble avec coupes partielles de la dynamo Fischer-Hinnen de 65 kilowatts.

Le collecteur est fixé sur un manchon en fonte claveté sur l'arbre et les lames isolées au mica sont serrées par un écrou vissé sur ce manchon et retenu par une vis.

Le diamètre du collecteur est de 25 cm et sa largeur de 16 cm.

Les balais sont métalliques et portés par 4 tiges fixées à un balancier en deux parties pouvant tourner autour d'un anneau venu de fonte avec le palier.

Chaque ligne de balais comporte 3 balais Boudreaux de 45 mm de largeur et 6 mm d'épaisseur.

La résistance de l'induit entre balais est de 0,0171 ohm à froid et le poids de cuivre de l'enroulement, de 99 kg.

Le poids de la machine complète, y compris la poulie et les rails tendeurs est de 3 575 kg.

Dynamo de 6 kilowatts. — La dynamo bipolaire représentée sur les figures 5, 6 et 7 a une puissance de 6 000 watts sous une tension de 125 volts.

La vitesse angulaire est de 1 200 tours par minute.

Fig. 5, 6 et 7. — Vues d'ensemble avec coupes partielles d'une dynamo F. Krizik de 6 kilowatts.

Inducteurs. — L'inducteur constitué par une caisse couverte en acier dont deux faces portent des paliers en fonte rapportée.

Les noyaux polaires sont venus de fonte avec la carcasse et les pièces polaires en acier sont fixées au moyen de vis.

La hauteur de la carcasse est de 52 cm et sa largeur dans le sens de l'axe de 75,6 cm; la largeur dans le sens perpendiculaire est de 38 cm. L'épaisseur de la carcasse atteint 4 cm.

Les noyaux polaires de section circulaire ont un diamètre de 17 cm; les pièces polaires ont une largeur de 18 cm et un arc d'embrassement de 135°.

Le diamètre d'alésage des inducteurs est de 22,6 cm et l'entrefer de 3 mm.

La dynamo est excitée en dérivation.

Les deux bobines inductrices sont enroulées sur des carcasses isolantes; elles sont munies d'une joue en zinc du côté des épanouissements.

Ces deux bobines comportent chacune 1 800 spires de fil de 1,1 mm de diamètre.

Les deux bobines sont montées en série; la résistance du circuit inducteur est de 46 ohms à froid et le poids de cuivre utilisé sur cet enroulement de 26,3 kg.

Induit. — L'induit est constitué par un noyau en tôles feuilletées, serrées entre deux joues en bronze par des rivets et clavetées sur l'arbre.

Son diamètre extérieur est de 22 cm et sa largeur de 18 cm, la hauteur radiale des tôles est de 7,3 cm non compris les dents dont la hauteur est de 18,5 mm.

La surface extérieure de l'induit est munie de 65 rainures dans lesquelles est réparti un enroulement en tambour bipolaire.

Cet enroulement comporte 65 sections de 2 spires chacune formées par deux fils de 3,2 mm de diamètre enroulés en parallèle et préparés d'avance sur gabarit.

Le nombre de conducteurs distincts par rainure est par suite de 4.

Les parties extérieures de l'enroulement situées du côté opposé au collecteur sont serrées par une calotte en bronze vissée sur l'arbre et retenue par une petite vis.

Les 65 sections aboutissent aux 65 lames d'un collecteur de construction analogue à celui de la machine de 65 kilowatts.

Le diamètre du collecteur est de 13 cm et sa largeur de 66 cm.

Les balais sont supportés par un balancier pouvant tourner autour d'un anneau venu de fonte avec l'un des paliers. Les deux lignes de balais portent chacune 2 balais en charbon.

La résistance de l'induit entre les balais est de 0,075 ohm et le poids de cuivre de l'enroulement de 12,6 kg.

Le poids total de la machine est de 402 kg y compris la poulie et les rails tendeurs.

Le rendement de cette dynamo est de 85 p. 100.

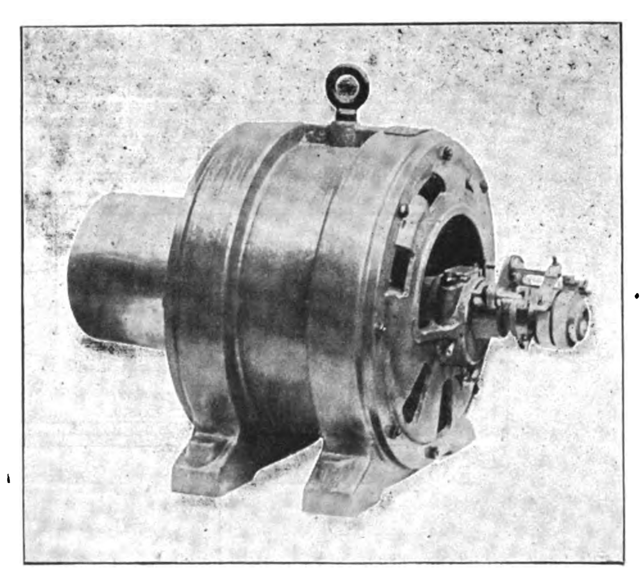


Fig. 1. — Moteur à courants triphasés Fischer-Hinnen de 7 chevaux.

MATÉRIEL A COURANT ALTERNATIF DE M. FR. KRIZIK.

Le matériel à courant alternatif de M. Fr. Krizik de Prague était représenté à l'Exposition par une série de moteurs triphasés et par des transformateurs triphasés.

Moteur triphasé de 7 chevaux. — Le moteur triphasé que nous décrivons ici est celui de 7 chevaux. La figure 1 est une photographie et les figures 2 et 3 en donnent des coupes et vues partielles. Il est établi pour une tension de 190 volts avec groupement de phases en triangle, ou 330 volts avec groupement en étoile. Il a 4 pôles, sa fréquence est de 50 périodes par seconde

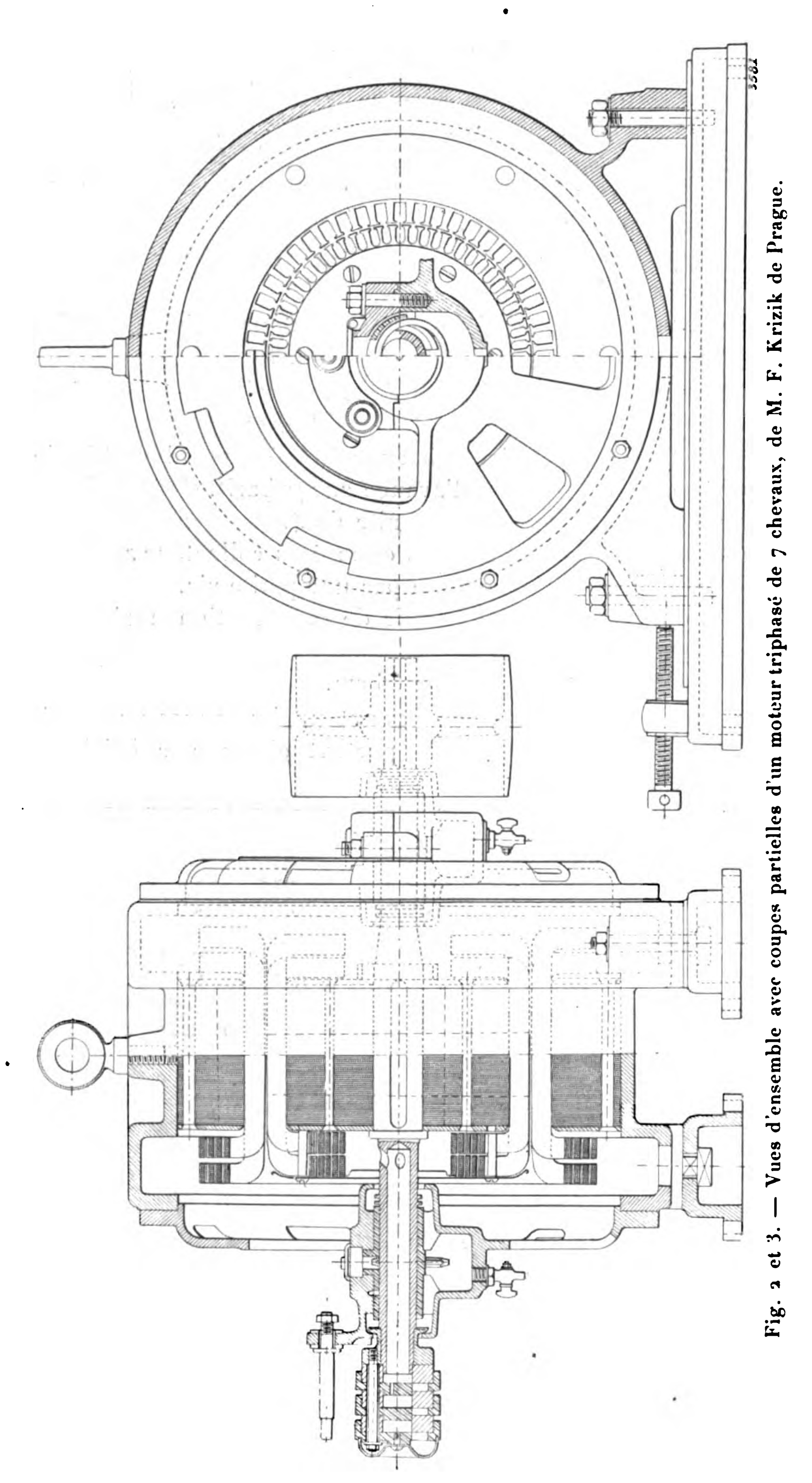


Fig. 2 et 3. — Vues d'ensemble avec coupes partielles d'un moteur triphasé de 7 chevaux, de M. F. Krizik de Prague.

L'inducteur fixe est constitué par un anneau en tôles feuilletées, serrées entre deux disques en fer à l'aide de rivets isolés. Cet anneau est fixé dans une caisse cylindrique en fonte venue de fonte avec deux autres caisses de plus grand diamètre qui servent de logements aux parties extérieures des enroulements inducteurs.

Les flasques en fonte portant les paliers à graissage à bagues sont boulonnées sur la carcasse inductrice.

Le moteur est fixé par 4 pattes sur deux rails tendeurs.

Le diamètre extérieur du noyau inducteur est de 44 cm et son diamètre d'alésage de 26,2 cm. La largeur de l'inducteur est de 14 cm et l'entrefer de 1 mm.

L'enroulement inducteur est réparti dans 48 encoches à demi-ouvertes de 21,5 mm de hauteur. Chaque phase comporte deux bobines enroulées chacune dans 8 encoches et formées de 48 spires de fil de 2,3 mm de diamètre.

Le nombre de conducteurs par encoche est ainsi de 12.

Les deux bobines de chaque phase sont groupées en série et la résistance de leur ensemble est de 0,0774 ohm à froid.

Le poids de cuivre utilisé sur l'inducteur est de 11,35 kg.

L'induit formé d'un noyau en tôles lamellées claveté sur l'arbre est serré par un écrou

entre deux disques en fer. Les tôles sont assemblées par des rivets. Le diamètre extérieur de l'induit est de 26 cm et sa largeur de 14 cm.

La périphérie de l'induit porte 60 encoches un peu ouvertes et de 17,5 cm de hauteur; l'enroulement induit triphasé comporte par phase deux bobines de 20 spires de fil de 3,2 mm de diamètre et enroulées dans 10 encoches.

Le nombre de conducteurs par encoche est de 4.

Les deux bobines de chaque phase sont montées en série et les 3 phases groupées en étoile.

La résistance de l'induit par phase est de 0,0663 ohm à froid et le poids de cuivre utilisé pour l'enroulement complet de 9 kg.

Le poids du moteur complet avec poulie et bagues est de 260 kg.

Résultats d'essais. — L'intensité du courant à vide est de 6,2 ampères par phase.

Le courant par phase pour une charge utile de 7 chevaux est de 13,3 ampères, la puissance apparente absorbée par le moteur est par suite de 7 600 watts. La puissance réelle fournie à l'induit est de 6 200 watts, ce qui correspond à un facteur de puissance de 0,82.

Le glissement de l'induit est de 3,5 p. 100 et la vitesse du moteur en charge de 1447,5 tours par minute.

Le rendement garanti est de 83 p. 100.

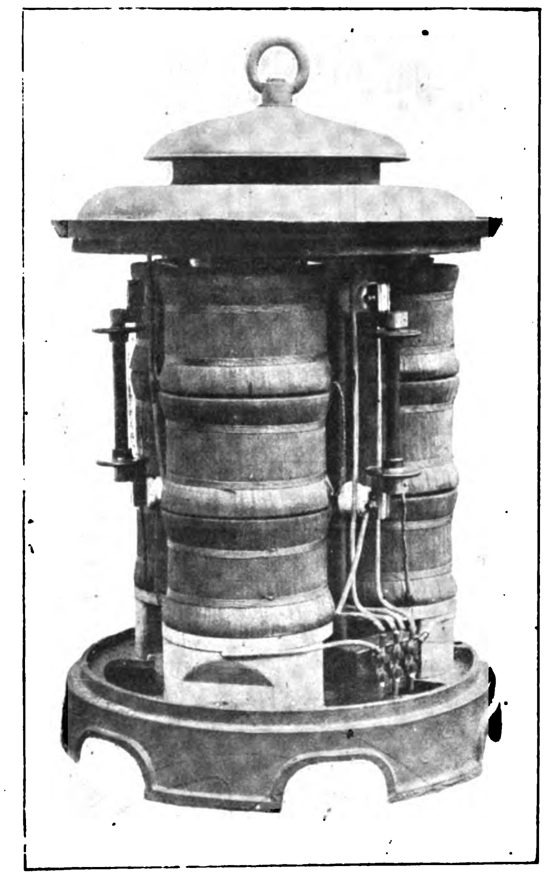


Fig. 4. — Transformateur à courants triphasés de M. F. Krizik de Prague. (Type Fischer-Hinnen).

Transformateur triphasé de 3 kilovolts-ampères. — Le transformateur triphasé représenté sur la photographie de la figure 4 et sur les figures 5 et 6 à une puissance de 3 000 volts-ampères sous une tension aux bornes de 3 300 volts. L'intensité du courant par phase dans les circuits primaires est de 0,525 ampères.

La tension secondaire est de 190 volts et le débit par phase de 5,25 ampères.

Ce transformateur est du type à noyaux; le circuit magnétique est constitué par 3 colonnes disposées verticalement aux sommets d'un triangle équilatéral.

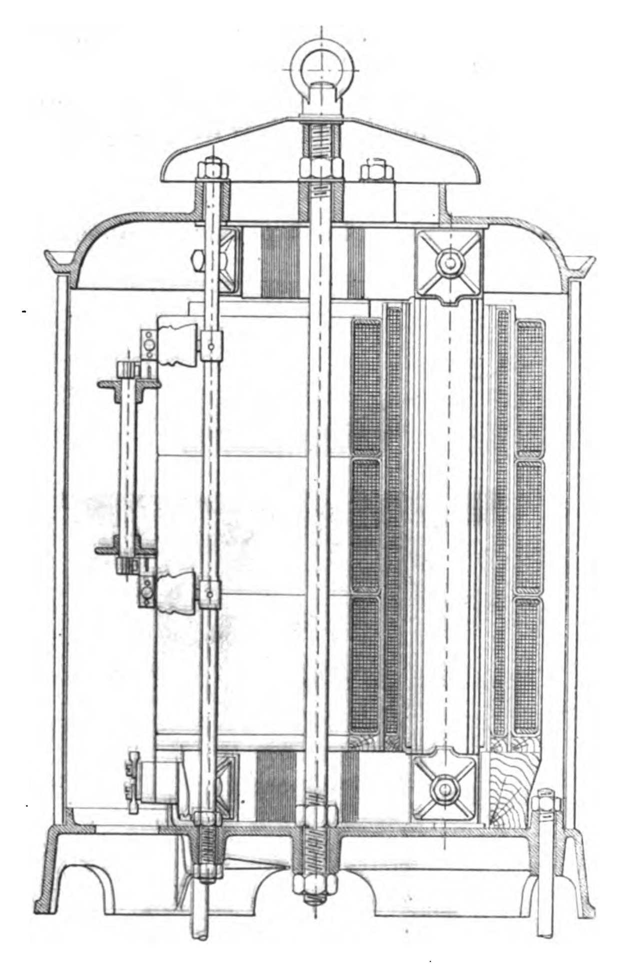
Les 3 colonnes sont réunies deux à deux par des noyaux courbés et sont séparées de ceux-ci par une feuille de papier très mince.

La hauteur de chaque colonne est de 46 cm et leur section utile de 40 cm². Les culasses ont une section de 7,2 cm sur 3,7, soit 26,6 cm².

Les enroulements sont disposés concentriquement, le primaire à la partie extérieure.

Le circuit primaire comporte 3 bobines par phase comprenant chacune 1 204 spires de fil de 0,96 mm de diamètre ou 0,785 mm de section.

Les 3 bobines de chaque phase sont groupées en série et les 3 phases en étoile. La



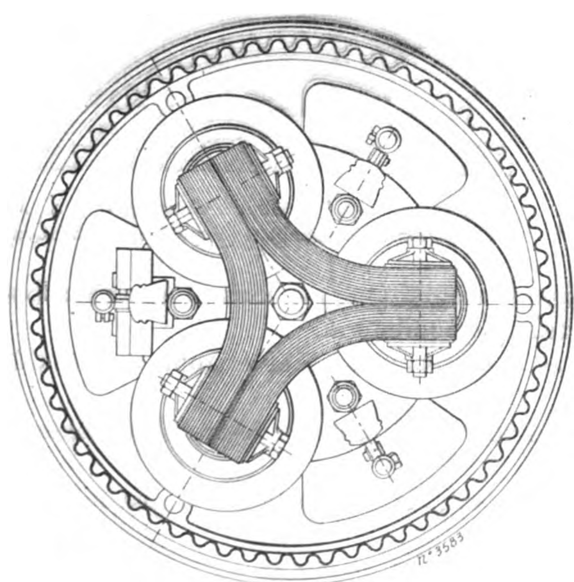


Fig. 5 et 6. — Vues d'ensemble avec coupes partielles d'un tranformateur de 3 kilovolts-ampères de M. F. Krizik de Prague.

résistance du circuit primaire par phase est de 50,7 ohms, ce qui correspond à une chute de tension ohmique primaire de 1,4 p. 100.

Le poids du cuivre de l'enroulement primaire est de 35 kg.

Le circuit secondaire comprend une seule bobine par phase; cette bobine est formée de 381 spires de fil de 2,5 mm de diamètre ou 4,91 mm² de section.

Les 3 phases sont groupées en triangle et la résistance de chacune d'elle est de 5,18 ohms et correspond à une perte de tension ohmique de 1,43 p. 100.

Le poids de cuivre de l'enroulement secondaire est de 17 kg.

Les culasses réunissant les noyaux sont disposées dans deux caisses étoilées en fonte dont l'une forme le socle et l'autre le chapeau de l'appareil.

Ces deux caisses sont serrées entre elles par des boulons dont l'un central porte un piston d'enlevage.

Un treillage entoure complètement l'appareil.

Résultats d'essais. — Les transformateurs de la série dont nous venons de décrire un des types sont étudiés spécialement pour l'alimentation des moteurs d'induction, c'est-à-dire en vue de présenter une chute de tension faible pour un facteur de puissance assez petit.

La tension aux bornes primaires avec le secondaire en court-circuit est, pour une intensité de courant égale à celle du courant normal, de 133 volts, soit environ 4 p. 100 de la tension normale.

Cette valeur ainsi que celles des chutes de tension ohmique montrent que la chute de tension en charge pour un facteur de puissance de 0,7 est seulement de 4,83 p. 100, valeur très faible pour un appareil d'aussi petite puissance.

L'intensité du courant à vide est de 0,059 ampère, soit environ 10 p. 100 du courant normal.

GROUPES ÉLECTROGÈNES DE 200 KILOWATTS DE LA MAISON BRÉGUET

La Maison Bréguet présentait à l'Exposition deux groupes électrogènes (fig. 1) de 300 chevaux chacun formé d'une turbine de Laval et de deux dynamos à courant continu.

Ces groupes montés en série étaient employés au service de l'éclairage.

Moteurs a vapeur. — Les turbines de Laval des groupes Bréguet ont une vitesse de 9000 tours à la minute. La pression sur les aubes est de 10 kg : cm²; la puissance normale est de 300 chevaux. La roue à aubes a un diamètre de 80 cm.

Le pignon calé sur l'arbre de la turbine attaque deux roues dentées clavetées qui réduisent la vitesse à 780 tours par minute.

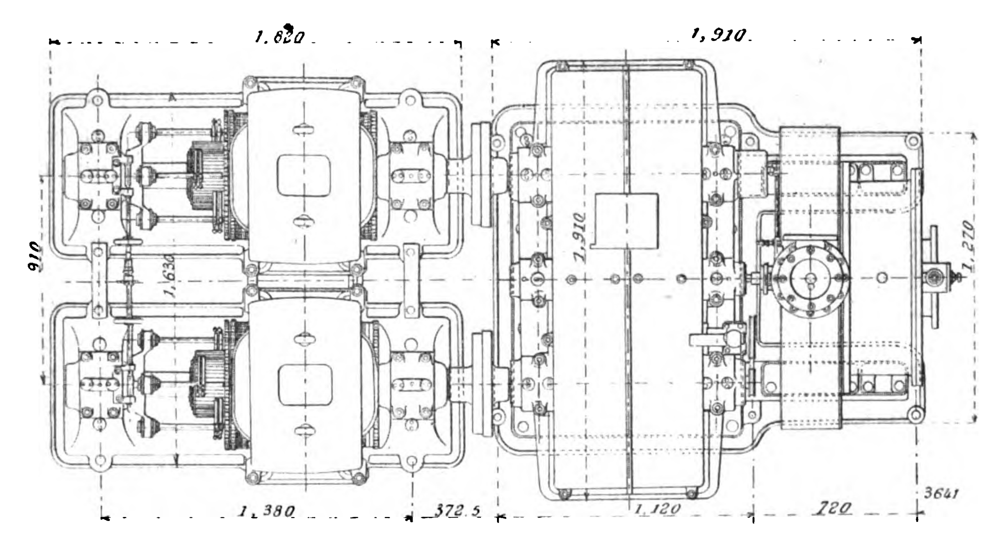


Fig. 1. — Vue en plan du groupe électrogène de 200 kilowatts de la maison Bréguet.

Les arbres des deux dynamos sont commandés par ces roues à l'aide d'accouplements élastiques Raffard.

La distribution de la vapeur à la surface de la roue à aubes est faite par 6 ajutages principaux. Quatre de ces ajutages sont du type conique et sont destinés à la marche à condensation, les deux derniers du type cylindrique servent au fonctionnement à échappement libre.

En dehors de ces ajutages principaux, la turbine possède 2 ajutages coniques avec ressort qui ne fonctionnent que lorsque la pression dans la conduite d'amenée de la vapeur s'abaisse au-dessous de 7 kg : cm².

Le dispositif de graissage est le même que celui adopté dans les turbines de Laval déjà décrites dans cette revue [1].

La condensation est faite avec des condenseurs séparés du type Black avec pompe à air conduite directement par un moteur spécial.

Le poids de chaque groupe est de 11 500 kg. L'ensemble, turbine et dynamo, occupe un rectangle de 4,16 m de long sur 1,91 m de large.

La consommation de vapeur par cheval-heure effectif est de 16 kg avec la marche à échappement libre et 7,5 kg pour la marche à condensation.

[1] *L'Éclair. Élect.*, t. XIII, p. 403, 27 novembre 1897.

Dynamos. — Les deux dynamos Bréguet commandées par chaque turbine de Laval ont une puissance totale de 200 kilowatts sous une tension de 250 volts aux bornes. Le débit est de 800 ampères.

La vitesse des dynamos est de 780 tours par minute.

Les dynamos Bréguet sont du type cuirassé à 4 pôles dont deux seulement reçoivent des bobines inductrices.

Les figures 2 et 3 montrent l'ensemble de deux dynamos avec coupes perpendiculaires à l'axe de l'une d'elles; la figure 4 est une coupe par l'axe d'une des dynamos.

Inducteurs. — La carcasse inductrice de chaque dynamo est en acier et coulée en deux parties, elle affecte une forme hexagonale irrégulière.

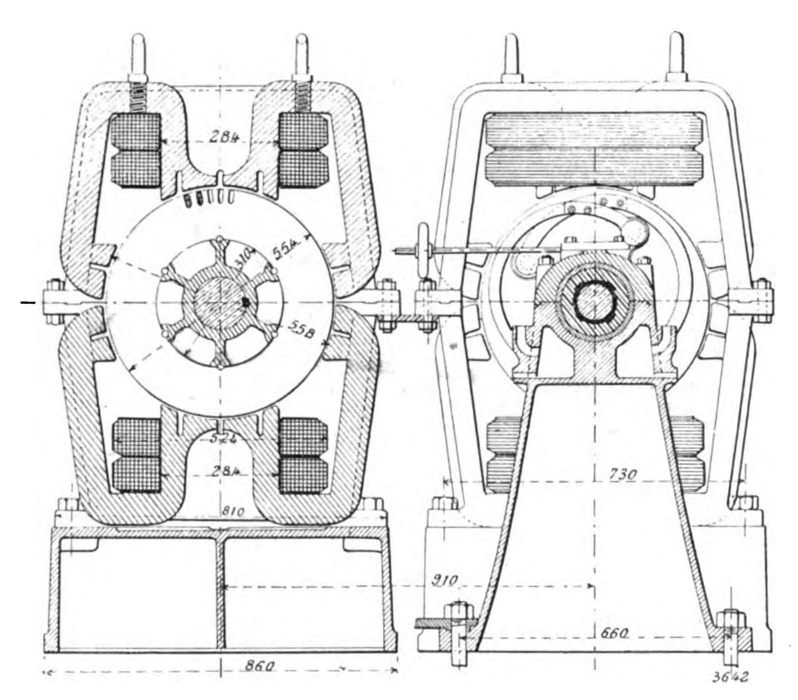


Fig. 2 et 3. — Vues de face avec coupes partielles de la dynamo de 100 kilowatts de la maison Bréguet.

L'assemblage de deux parties de la carcasse est fait par des oreilles venues de fonte, de façon à ménager dans les pôles non bobinés une rainure radiale destinée à diminuer l'effet de la réaction d'induit.

Deux autres rainures sont en outre ménagées dans le même but sur les pièces polaires des mêmes pôles.

Les pôles bobinés, dont les noyaux sont évidés, sont également munis de 3 rainures chacun.

La hauteur de la carcasse est d'environ 110 cm et la largeur dans le sens perpendiculaire à l'axe de 77,5 cm. La largeur dans le sens de l'axe est de 54 cm.

La section des pièces polaires est de 28,4 cm sur 41 cm, soit 1 164 cm² y compris les fentes radiales.

Le diamètre d'alésage des inducteurs est de 56,8 cm et l'entrefer de 7 mm.

L'enroulement inducteur en dérivation est formé de deux groupes de deux bobines superposées. Chaque groupe comporte en charge 15 000 ampère-tours; la densité de courant dans l'inducteur est de 1,6 ampère par mm².

Induit. — L'induit est porté par un croisillon en fonte claveté sur l'arbre qui présente de plus une partie unique sur laquelle le support est serré par un écrou retenu par une vis sur l'arbre. Ce croisillon porte 6 bras qui supportent le noyau de tôles. L'entraînement se fait par boulons noyés mi-partie dans l'induit, mi-partie dans le support.

Les tôles sont groupées en trois paquets séparés par des intervalles pour la ventilation, serrées entre elles par des boulons à l'aide de deux anneaux qui servent en même temps de soutien aux conducteurs induits.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 55,4 cm et la hauteur radiale des tôles de 12,2 cm. La largeur du noyau est de 42 cm.



La périphérie du noyau est munie de 60 rainures demi-fermées dans lesquelles est réparti un enroulement série parallèle avec 4 circuits en quantité.

Les encoches de l'induit comportent chacune 4 conducteurs formés de barres de cuivre de 16 mm de largeur et de 2,5 mm d'épaisseur. La densité du courant dans l'induit est ainsi de 269 ampères par cm².

Les 240 conducteurs sont groupés en 120 sections d'une spire de deux conducteurs chacune aboutissant aux 120 lames du collecteur.

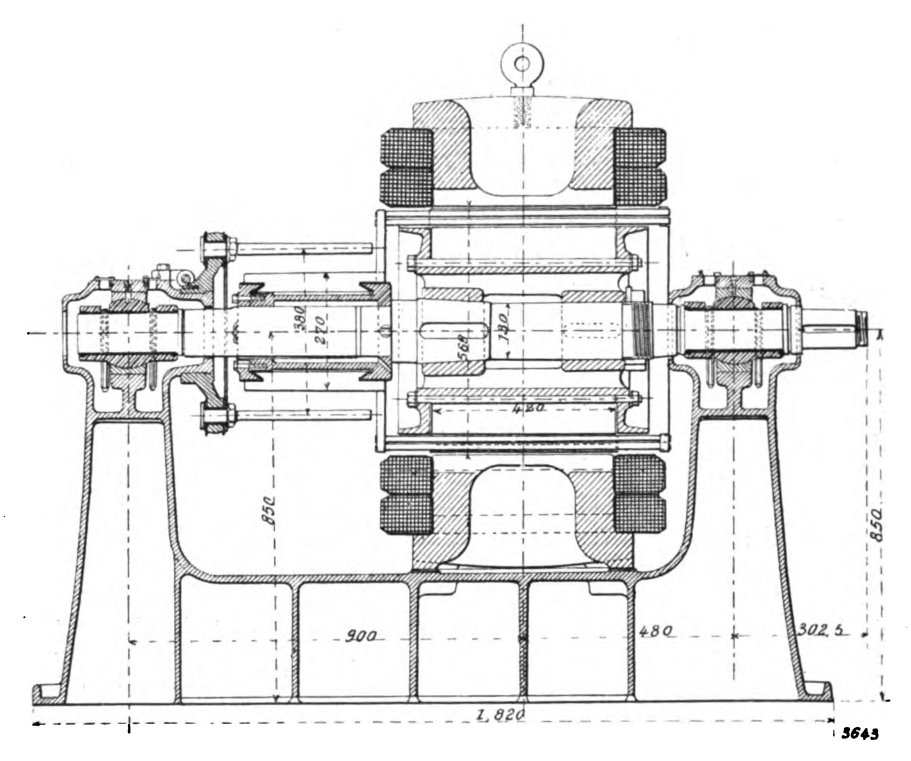


Fig. 4. — Coupe par l'axe d'une dynamo de 100 kilowatts de la maison Bréguet.

Le collecteur est monté sur un manchon en fonte fixé sur l'arbre; les 120 lames isolées au mica sont serrées entre un rebord du manchon et un anneau retenu par des vis.

Le diamètre du collecteur est de 27 cm et sa largeur utile de 31 cm.

Le support des balais est constitué par un balancier en fonte pouvant tourner autour d'un anneau venu de fonte avec le palier.

Les supports des deux dynamos du groupe peuvent être déplacés simultanément ou successivement à l'aide de deux petits volants commandant des vis sans fin.

Les porte-balais sont d'un type spécial très léger de façon à permettre l'emploi d'une vitesse linéaire assez grande, inévitable avec la commande par turbine.

Chacune des 4 tiges de balais porte 12 charbons d'une largeur de 16 mm.

J. Reyval.

SYSTÈME PUPIN POUR LA TRANSMISSION DES ONDES ÉLECTRIQUES

APPLICATIONS A LA TÉLÉPHONIE A GRANDE DISTANCE

On peut diviser en deux classes les perfectionnements apportés de nos jours à la téléphonie et à la télégraphie à longue distance :

1° Ceux qui sont localisés aux extrémités des lignes, plus particulièrement dans les transmetteurs et les récepteurs.

2° Ceux qui concernent seulement la construction des lignes entre les deux postes,

Les premiers ont donné lieu à de nombreux travaux et mémoires, notamment ceux de Breisig (E. T. Z., 13 décembre 1900), de Crehore et Squier (A. I. E. E. 1899) de Bedell (brevet 16 352 et communication à l'A. I. E. E.)

Les autres ont été exposés dans leur ensemble et sommairement par M. Rœber (n^{os} des 16 et 23 mars de l'*Electrical World and Engineer*).

A cette dernière catégorie appartiennent les systèmes de transmission préconisés par MM. Pupin, Thompson et Reed, reposant tous sur le rôle favorable de l'inductance, déjà signalé par M. Heaviside au cours de ses remarquables travaux.

Nous donnerons de ce rôle une idée sommaire, mais parfaitement suffisante ; nous ne procéderons pas ensuite à la comparaison des systèmes dus à Pupin, Thompson et Reed, la traduction des articles de M. Rœber devant être prochainement publiée ici.

Mais nous emprunterons aux mémoires et aux brevets du Pr. Pupin l'exposé de la théorie par laquelle il a jeté les bases précises d'applications désormais pratiques, et des expériences par lesquelles il en a tenté, et réussi, la vérification [1].

Role de l'inductance. — Le rôle des lignes elles-mêmes a été l'objet d'études approfondies de Heaviside. Il a établi en principe que leur construction devait tendre à une réduction aussi grande que possible des deux facteurs principaux de la transmission, *l'atténuation* et la *distortion*, et pour obtenir ce résultat, il a montré qu'on était conduit à augmenter dans de grandes proportions, l'inductance propre des lignes.

1° *Atténuation*. — En effet, la loi d'Ohm généralisée donne, à chaque instant, entre le courant I, la force électromotrice (supposée Ee^{pt}), la résistance R et l'inductance L de la ligne, la relation suivante

$$iR + L\frac{di}{dt} = Ee^{pt}$$

L'équation rapportée à l'énergie et au temps dt est donc :

$$i^2Rdt + \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}Li^2\right)dt = iEe^{pt}\ dt.$$

Le premier terme représente l'énergie dissipée en chaleur dans la ligne, le second terme, l'énergie emmaganisée dans le milieu diélectrique, le troisième, l'énergie communiquée à la ligne.

Pour améliorer le rendement de la transmission, il convient de réduire autant que

(1) La traduction d'un article sur ce sujet écrit par M. Pupin pour *Engineering Magasine* a été déjà publiée dans cette revue (*Supplément* du 15 juin, t. XXVII, p. CXXVIII).



possible le rapport du premier au second terme, résultat qu'on peut obtenir en réduisant la résistance R ou en augmentant proportionnellement l'inductance L.

Le premier moyen, qui consiste à réduire la résistance R du conducteur, c'est-à-dire à augmenter sa section, se traduit par une plus-value proportionnelle de cuivre.

Le second moyen peut souvent réaliser plus économiquement la même amélioration de la transmission : c'est à des solutions de cet ordre que se sont attachés MM. Pupin, Thompson et Reed (fig. 1 à 3).

2° *Distorsion.* — Il reste à définir le rôle de l'inductance dans la distorsion. Les ondes périodiques appliquées à la ligne au poste transmetteur se réduisent, d'après Fourier, à une série de sinusoïdes de fréquence et de phase différentes. Ces éléments subissent dans la ligne des atténuations qui dépendent de leur fréquence, et sont généralement plus

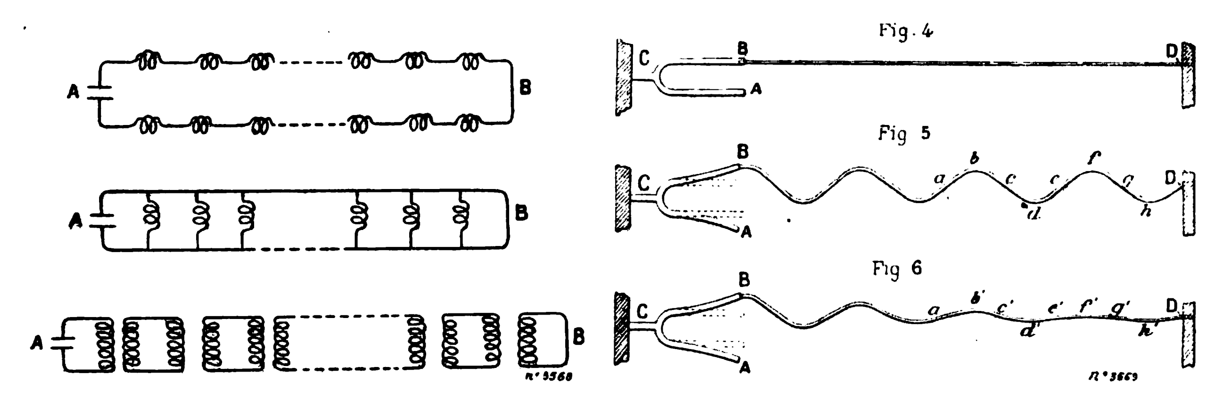


Fig. 1 à 3. — Dispositions Pupin, Thompson et Reed

Fig. 4, 5 et 6.

considérables pour les fréquences élevées : c'est cet inégal effet de la ligne sur les éléments sinusoïdaux des ondes qu'on appelle la *distortion*. Heaviside a montré que l'inductance combat la distortion, et qu'un conducteur d'inductance considérable par rapport à sa résistance transmet les ondes différentes avec une atténuation et une vitesse de propagation indépendantes de la fréquence.

Pour montrer, dès maintenant, sous quelle incidence de praticien autant que de savant le Dr Pupin a envisagé, pour l'utiliser, ce rôle de l'inductance dans les lignes, laissons subsister le tour original de ses démonstrations. Il expose comme suit, dans le brevet qui a suivi son mémoire à l'A. I. E. E. et qui en a précisé encore davantage le contenu, le double rôle reconnu déjà de l'inductance, et il a étudié le premier les conditions rationnelles de modification des lignes d'après ces données, en tenant compte des phénomènes de réflexion qui pouvaient si facilement faire échec à ce système.

1° Considérations sur le rôle favorable de l'inductance. — Il convient de signaler brièvement, dit-il au début de ce brevet, les résultats principaux de la propagation des ondes électriques dans les lignes de grande longueur pour faire comprendre le caractère véritable et la portée des revendications qui suivent. Nous ferons appel à certaines analogies mécaniques pour ajouter encore à la clarté de nos explications.

Dans la figure 4, ABC représente un diapason fixé rigidement en C, le fil attaché en B étant supposé soumis à une certaine tension et fixé par son autre extrémité en D. Sa position d'équilibre est représentée en traits pleins BD.

(1) *Electromagnetic Theory* et *Electrical Papers*.

Supposons maintenant qu'on imprime au diapason des vibrations continues entretenues électriquement ou par tout autre moyen, il en résultera dans le fil des vibrations soumises à la période vibratoire du diapason.

Nous allons décrire brièvement deux formes principales de vibrations.

La figure 5 représente des vibrations stationnaires, c'est-à-dire celles qu'on obtient quand les résistances dues aux frottements internes et externes sont négligeables : l'amplitude des ondes demeure constante ; il en résulte que les ondes directes venant du diapason et les ondes réfléchies venant du point d'attache D ont la même amplitude et donnent lieu, par interférence, à des ondes stationnaires dont les nœuds sont en *a c e g* D, et les ventres en *b d f h*.

La figure 6 correspond au cas où les résistances de frottement ne sont pas négligeables et où les ondes subissent une atténuation d'amplitude de B à D. Après réflexion en ce point, les ondes de retour ont une amplitude plus faible que les ondes directes et leur interférence avec ces dernières ne produit pas un système d'ondes stationnaires : le fil ne représente donc plus à l'œil une forme ondulatoire définie, mais sa forme change constamment. Si on l'observe au moyen d'un miroir tournant ou au moyen d'étincelles périodiques, on trouve qu'il affecte la forme $a' b' c' d' e' f'$ (fig. 6), forme ondulatoire à amplitude décroissante.

Si on suppose que les résistances de frottement sont proportionnelles à la vitesse, le rapport d'atténuation sera constant.

Les deux constantes les plus caractéristiques de cette courbe sont : la vitesse de propagation, qui fixe la longueur d'ondes pour une fréquence donnée, et le rapport d'atténuation (ou rapport des amplitudes des deux demi-ondes successives). Ces deux constantes dépendent de la densité, de la tension et des résistances de frottement du fil, ainsi que de la fréquence de l'ondulation. Si par exemple, toutes choses égales d'ailleurs, la tension est plus élevée, la vitesse de propagation sera plus grande, et il en sera de même de la longueur d'ondes pour une fréquence donnée. Un intérêt tout particulier s'attache en téléphonie ou en télégraphie au rapport d'atténuation et à l'influence de la densité du fil sur la valeur de ce rapport. En employant des fils de densité progressivement croissante, nous pourrons réduire autant que nous voudrons ce facteur, en dépit même des résistances de frottement, et inversement, en employant des fils de plus en plus petits, on peut accroître progressivement l'atténuation ; en d'autres termes, la transmission d'énergie se fait beaucoup mieux par un fil dense que par un fil léger.

L'énergie transmise au fil par le diapason, et transmise par le fil au point D existe en partie comme énergie cinétique ou énergie de déplacement du fil, et en partie comme énergie potentielle ou énergie de déformation de ce dernier. La propagation des ondes consiste en transformation d'énergie cinétique en énergie potentielle et vice versa. Pendant cette transformation, une partie de cette énergie est dissipée en chaleur par les résistances de frottement. On suppose que ces réactions sont proportionnelles à la vitesse, et les pertes qui en résultent, proportionnelles au carré de la vitesse.

Considérons maintenant l'énergie cinétique d'un élément du fil : elle est proportionnelle au produit de la masse par le carré de sa vitesse. Si la masse prend une valeur n^2 fois plus grande, l'élément sera capable d'emmagasiner la même quantité d'énergie cinétique avec une vitesse n fois moindre : mais puisque les pertes en chaleur produites par les frottements sont proportionnelles au carré de la vitesse, il s'ensuit que, dans le second cas, l'élément du fil transmet la même quantité d'énergie avec des pertes n^2 fois moindres. En d'autres termes, les pertes sont à peu près inversement proportionnelles à la densité. Le fait physique, que des fils denses transmettent plus efficacement l'énergie que des fils légers,



se ramène donc au principe fondamental que des fils denses exigent une vitesse moindre pour emmagasiner une quantité donnée d'énergie cinétique, et qu'une vitesse moindre entraîne une moindre dissipation d'énergie, et par conséquent une moindre atténuation de l'onde. Plus le fil est dense, plus sa vibration sera près de donner des ondes stationnaires.

La vibration du fil que nous venons de considérer est analogue à la propagation des ondes électriques dans un conducteur B′ D′ relié (fig. 7) par une extrémité B′ à un alternateur C′, dont la force électromotrice est une harmonique simple et dont l'autre extrémité est reliée à la terre. Cette analogie résulte de l'analogie parfaite des réactions accompagnant la vibration d'un fil et la transmission d'ondes électriques : la réaction d'accélération, la réaction de tension, et la réaction de frottement suivant les mêmes lois que les réactions ohmique, inductive et de capacité : c'est-à-dire que la résistance ohmique, l'inductance et l'inverse de la capacité par unité de longueur du conducteur, correspondent respectivement à la densité, à la tension et au coefficient de frottement du fil.

n° 3570

Fig. 7 et 8.

Dans la figure 8, la ligne B′ D′ représente le fil conducteur de la figure 7. Les ordonnées de la courbe 8 représentent les valeurs instantanées du courant aux divers points du conducteur; cette courbe de courant a la même forme que la courbe du fil représenté figure 6. L'énergie magnétique du courant correspondant à l'énergie cinétique du fil vibrant, un fil dense présentera, sur un fil léger, les mêmes avantages au point de vue de la transmission de l'énergie électrique qu'à celui de la transmission de l'énergie mécanique, par le pouvoir qu'il possède d'emmagasiner une même quantité donnée d'énergie magnétique avec un courant moindre. Quand l'accumulation d'énergie magnétique s'effectue par de faibles courants, l'atténuation des ondes est moindre, et l'on réalise un meilleur rendement. Ces faits résultent des calculs suivants.

Faisons-les précéder d'abord de deux définitions.

Dans notre mémoire sur la *Propagation des Ondes électriques*, page 122, les expressions mathémathiques des constantes les plus importantes ont reçu le nom de *constante de longueur d'onde* et *constante d'atténuation*, que nous avons représentées par les symboles α et β; leurs expressions mathématiques sont les suivantes :

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} pC \left\{ \sqrt{p^2L^2 + R^2} + pL \right\}} \qquad \beta = \sqrt{\frac{1}{2} pC \left\{ \sqrt{p^2L^2 + R^2} - pL \right\}}$$

dans lesquelles : L est la self-inductance du fil par mille, C la capacité du fil par mille, R la résistance ohmique du fil par mille, $p = \frac{2\pi}{T}$, T la période de la force électromotrice appliquée.

La signification physique de ces deux constantes peut être établie assez simplement. Soit :

$$\lambda = \text{la longueur d'onde;}$$

on a alors :

$$\lambda = \frac{2\pi}{\alpha};$$

****

d'où le nom donné dans ce brevet de *constante de longueur d'onde* appliqué à la quantité α. Supposons transmise du point B' une onde d'amplitude U (fig. 7) ; au moment où elle atteint un point à distance s de B', son amplitude devient U $e^{-\beta s}$, où e est la base des logarithmes népériens. La constante β mesure l'atténuation, d'où le nom de *constante d'atténuation* qui lui a été donné. L'expression $e^{-\beta s}$ est ce que nous appelons *facteur d'atténuation* parce que c'est le facteur qui, multiplié par l'amplitude initiale, donne l'amplitude à distance s de la source.

Considérons maintenant trois exemples numériques distincts pour montrer l'influence de ces constantes sur la transmission de l'énergie électrique dans les conducteurs.

Les câbles souterrains du réseau téléphonique de New-York présentent les constantes suivantes :

$$L = 0 \text{ (sensiblement nulle).} \qquad C = 5 \times 10^{-8} \text{ farads.} \qquad R = 20 \text{ ohms.}$$

Avec ces données, les formules donnant α et β sont :

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} pCR.} \qquad \beta = \sqrt{\frac{1}{2} pCR.}$$

Soit : $p \equiv 2\pi \times 3\,000$

La fréquence de 3 000 a été prise comme étant bien supérieure à la fréquence la plus élevée dans la transmission électrique de la parole. Nous allons montrer que, même à cette fréquence élevée, l'atténuation peut être grandement réduite par l'addition d'inductance à la ligne. Les valeurs pour cette fréquence sont les suivantes :

$$\alpha = 0{,}974. \qquad \beta = 0{,}74.$$

La longueur d'onde $\lambda = \frac{2\pi}{\alpha} = 64$ milles en chiffres ronds.

L'atténuation à une distance de 250 milles, égale à peu près à la distance séparant New-York de Boston, est obtenue comme suit : soit U_0 = l'amplitude initiale ou amplitude du courant à New-York. Alors le courant à Boston sera :

$$U_0{}^{-250\beta} = U_0{}^{-24}.$$

Ce qui veut dire que, pratiquement, aucun courant n'atteint le second poste. La résistance ohmique absorbe complètement l'énergie ondulatoire avant même que celle-ci ait fait la moitié du trajet. Même au cas où il serait possible d'employer un plus gros fil et de donner à R une valeur de 5 ohms, le rapport des amplitudes au point d'arrivée et au point de départ serait e^{-12}, en supposant que la capacité n'ait pas augmenté. Dans de telles conditions les communications téléphoniques entre ces deux villes seraient impossibles, même sur ce gros fil, et l'impossibilité subsiste même au cas où la fréquence téléphonique la plus élevée serait inférieure à 3 000 périodes par seconde.

Examinons maintenant l'action du câble de 20 ohms par mille, en supposant qu'on élève son inductance à 0,05 henry par mille. Cette valeur est à peu près égale à 10 fois l'inductance des lignes téléphoniques de New-York à Chicago. La longueur d'onde et la constante d'atténuation de ce câble seraient approximativement :

$$\lambda = 6{,}66 \text{ milles,} \qquad \beta = 0{,}01 \text{ milles,}$$

et le rapport des amplitudes à Boston et à New-York de $e^{-2,5}$. Dans ces conditions, il devient possible de communiquer sur une distance dépassant même 1 000 milles. Ces exemples numériques montrent clairement les effets favorables de l'inductance.

2° Après ces considérations physiques et numériques sur le rôle de l'inductance, l'auteur entreprend d'en réaliser l'emploi par des dispositifs expérimentaux décrits et représentés ci-dessous :

Nous avons été, le premier à soumettre cette théorie au contrôle de l'expérience, et nous avons décrit nos expériences dans la première partie du 3e chapitre de notre Mémoire. Non seulement ces expériences sont les premières qui aient permis de vérifier les données théoriques ci-dessus, mais c'est encore par elles que nous avons mis en pratique l'invention exposée dans le présent brevet. Les théories exposées jusqu'à ce jour concluent à l'emploi de conducteurs de grande inductance pour la construction des lignes électriques de grande longueur, mais elles ne donnent pas les moyens d'obtenir ce résultat. L'auteur, le premier, a étudié la réalisation pratique de ces conditions, une partie de ses recherches ont été exposées dans les chapitres II et III du Mémoire cité ci-dessus. Nos figures 9 et 10 reproduisent les figures 4 et 5 du mémoire.

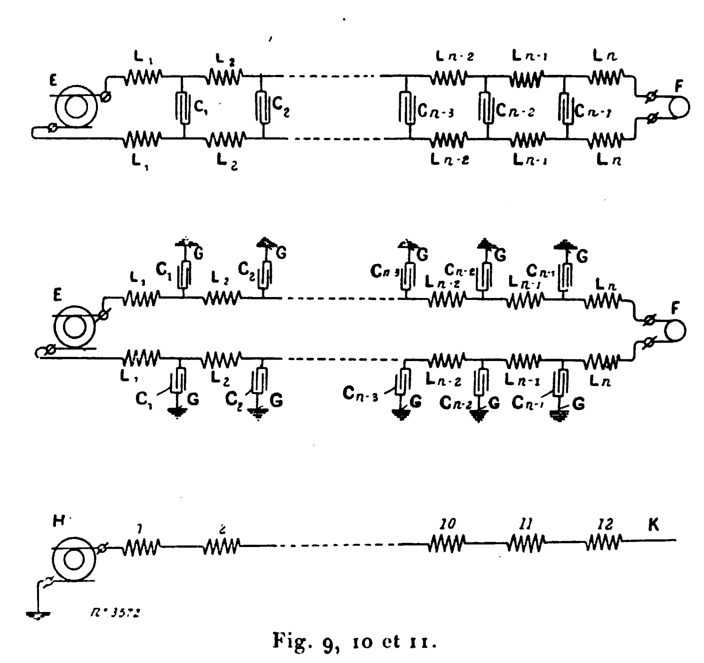


Fig. 9, 10 et 11.

Dans la figure 9, E est un alternateur et F un appareil récepteur téléphonique par exemple. L_1, L_2 à L_n sont des petites bobines enroulées sur bois et ne présentant pas de fer. Chaque bobine a une self-inductance d'environ 0,0125 henry et une résistance de 2,5 ohms.

Ces bobines sont reliées en série sur la ligne reliant l'alternateur E au récepteur F. Dans l'appareil qui a servi aux essais, et dont une partie est représentée dans la figure 9 de mon Mémoire, il y avait environ 400 de ces bobines. C_1, C_2, C_{n-1} représentent des petits condensateurs en dérivation sur la ligne. Dans la figure 10, les condensateurs relient la ligne à la terre G. La capacité de chaque condensateur était voisine de 0,035 microfarad. La théorie mathématique de la propagation du courant alternatif dans un tel conducteur à faible vitesse de propagation est donnée dans le second chapitre du Mémoire. Elle est, je crois, entièrement nouvelle, son objet principal était de trouver à quel point un conducteur de cette nature pouvait réaliser les mêmes conditions qu'une ligne téléphonique ordinaire à inductance, capacité et résistance uniformément distribuées. La théorie que j'ai donnée résout entièrement ce problème : jusqu'à une fréquence de 1 000 périodes par seconde, j'ai montré qu'une telle ligne se comporte dans les mêmes conditions qu'une ligne à inductance uniforme de 0,005 henry, de résistance de 1 ohm et de capacité de 0,01 microfarad. Même pour une fréquence de 3 500 périodes par seconde, un tel conducteur reste approximativement équivalent à une ligne ordinaire à éléments uniformes, l'approximation étant de l'ordre des erreurs d'expérience (que j'évalue à 1 ou 2 p. 100). L'analogie est pratiquement parfaite pour toutes les fréquences qui présentent quelque intérêt en transmission téléphonique. Une ligne à grande inductance et à haut potentiel a, non seulement l'avantage d'offrir une

faible atténuation, mais encore présente une faible distortion, dans ce sens que toutes les fréquences existant dans la voix humaine sont réduites au même degré : elles sont donc pratiquement exemptes de toute altération.

Nous allons énoncer la règle générale suivante :

Si n est le nombre de bobines par longueur d'onde, le conducteur à faible vitesse de propagation sera, pour cette longueur d'onde, l'équivalent d'une ligne téléphonique ordinaire, si la différence $\sin\frac{\pi}{n} - \frac{\pi}{n}$ est négligeable.

Ainsi, par exemple, quand $n = 16$, on a $\frac{\pi}{16} = 0{,}196$ et $\sin\frac{\pi}{16} = 0{,}196 - 0{,}00122$; donc $\sin\frac{\pi}{16}$ diffère de $\frac{\pi}{16}$ d'à peu près de 2/3 de 1 p. 100. Cette loi déterminée théoriquement a été soumise à des expériences décrites dans le troisième chapitre du Mémoire. Définissons maintenant un terme technique que je trouve commode pour connaître la distance angulaire entre deux points d'un conducteur : nous pouvons dire que deux points séparés par une longueur d'onde ont une distance angulaire de 2π. Si la distance linéaire des deux points est de $\frac{\lambda}{n}$, λ étant la longueur d'onde, leur distance angulaire sera $\frac{2\pi}{n}$, de sorte que la règle donnée plus haut est susceptible d'être énoncée comme suit : un conducteur à faible vitesse de propagation équivaut à un conducteur ordinaire uniforme avec un degré d'approximation mesuré par le rapport de la moitié de la distance angulaire à son sinus.

Passons maintenant à un second type de conducteur à faible vitesse de propagation mieux adapté aux usages pratiques pour l'atténuation des ondes électriques, nous l'appelons *conducteur à réactance*. Dans la figure 11, H est le transmetteur d'une longue ligne électrique. Aux points 1, 2 à 10, 11, 12 sont introduites des bobines égales, en série avec la ligne et à égale distance les unes des autres. Cette identité de bobines et de distance n'est pas absolument nécessaire, mais elle est préférable.

Ce second type de conducteur diffère du premier en ce qu'il offre une capacité distribuée et non plus accumulée, et qu'il en est de même de son inductance et de sa résistance : ce second type est beaucoup plus près que le premier de réaliser le conducteur uniforme ordinaire, on peut donc en conclure que, dans les cas où le premier type se comporte comme un conducteur ordinaire, le second se comportera mieux encore, ce qui a lieu quand la valeur de la moitié de la distance angulaire entre deux bobines consécutives est très voisine de son sinus. L'expérience m'a permis de vérifier l'exactitude de cette règle.

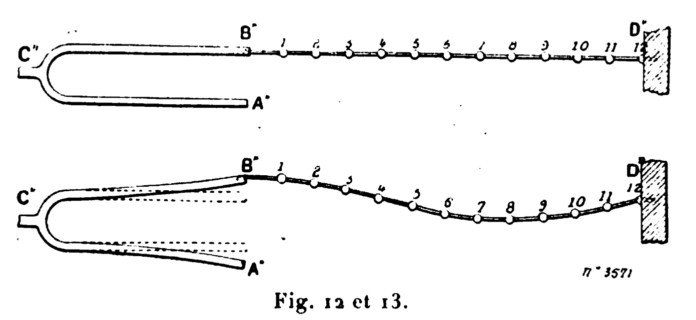


Fig. 12 et 13.

Reprenons l'analogie déjà signalée du conducteur et de la corde vibrante. Dans la figure 12, A″ B″ C″ représentent un diapason fixé rigidement en C″. Le trait plein B″D″ représente un fil flexible sous tension fixé en D″. Sur ce fil sont distribuées des masses égales à des distances égales : si on imprime au diapason un mouvement vibratoire, de période convenable, tel qu'il communique au fil une vibration dont la longueur d'onde est égale ou supérieure à la distance B″ D″, la vibration (fig. 13) sera, à moins d'un p. 100 près, la même que la vibration d'un fil simple de même

longueur, de même tension, de même résistance de frottement et de même masse que lui. La vibration mécanique de ce fil est parfaitement analogue à la vibration électrique d'un conducteur de courant.

Dans la figure 11, l'alternateur H produit une forme électromotrice harmonique simple. Un des pôles de l'alternateur est mis à la terre, l'autre pôle est relié à un conducteur, qui porte en série des bobines égales à égale distance 1, 2 à 10, 11, 12. Supposons maintenant que la force électromotrice produite par l'alternateur développe dans la ligne une vibration électrique de telle longueur d'onde que les 2/3 de celle-ci équivalent à la longueur de la ligne ou à une longueur plus grande, la loi du courant dans ce conducteur sera la même que la loi de vibration du fil chargé, et quelques expériences avec celui-ci établissent l'analogie et permettent même une étude facile des lois de transmission du courant. Ce conducteur équivaut à un conducteur uniforme de même inductance, mêmes capacité et résistance par unité de longueur, quand la demi-distance entre deux bobines successives est approximativement égale à son sinus. Un tel conducteur offre donc une faible atténuation et une distortion semblable où sa réactance par unité de longueur est égale par rapport à sa résistance. Cette condition est facile à réaliser avec des conducteurs ainsi constitués, quand les sources de réactance rentrant dans leur composition sont de simples bobines. Il convient de les faire sans noyau magnétique pour éviter l'hystérésis, les courants de Foucault et la distortion, et on y arrive dans chaque cas sans donner trop de volume ou trop de résistance ohmique à ces bobines. Si des raisons spéciales commandent l'emploi de bobines de faibles dimensions, on peut employer le fer ou mieux l'acier doux en maintenant l'induction aussi faible que possible. Pour la téléphonie, la distance angulaire entre deux bobines successives doit satisfaire à la condition énoncée ci-dessus pour la valeur la plus élevée de la fréquence.

3° Pour préciser l'application de ces règles en pratique, traitons les deux cas particuliers suivants :

Supposons que l'on désire communiquer téléphoniquement sur une ligne de 3 000 milles de longueur : on souhaite que le facteur d'atténuation ne soit pas supérieur à celui des meilleures lignes New York-Chicago, c'est-à-dire (déperdition mise à part), environ $e^{-1,5}$ pour la fréquence la plus élevée de la parole, soit environ 1 500 périodes par seconde.

Soient donc : β, la constante d'atténuation; l, la distance = 3 000 milles; $e^{-3\,000\beta}$, le facteur d'atténuation = $e^{-1,5}$; alors : $3\,000\,\beta = 1,5$.

Employons un fil de cuivre d'une résistance de 4 ohms par mille, et supposons que la résistance ajoutée par l'introduction des bobines d'inductance soit 0,6 ohm, la résistance totale par mille devient donc 4,6 ohms. Quand la réactance par mille est assez grande par rapport à la résistance, la constante d'atténuation est donnée par la formule simplifiée suivante :

$$\beta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}.$$

Elle montre que β est indépendante de la fréquence et par conséquent le conducteur à réactance est sans distortion. Le fil de 4 ohms employé pour la ligne, monté sur poteau à la façon des lignes américaines, offre une capacité égale à C = 0,01 microfarad par mille. L'inductance du fil est négligeable en face de l'inductance L des bobines : la valeur requise pour celle-ci se calcule d'après la formule ci-dessus, ce qui donne :

$$3\,000\,\beta = 3\,000\,\frac{4,6}{2}\,\frac{1}{1\,000}\sqrt{\frac{0,01}{L}} = 1,5$$

d'où

$$L = 0{,}2 \text{ henry}.$$

Ayant calculé l'inductance par mille, il nous reste à calculer la longueur d'onde pour la fréquence la plus élevée, c'est-à-dire 1 500 périodes par seconde.

$$\frac{2\pi}{\alpha} = \frac{2\pi}{p\sqrt{LC}} = \frac{10^3}{1500\sqrt{.2 \times .01}} = 15 \text{ milles approximativement.}$$

On réalise assez exactement les conditions d'une ligne uniforme en employant 15 bobines par longueur d'onde de la plus grande fréquence, c'est-à-dire par longueur d'onde de 15 milles; ceci faisant une bobine par mille, l'inductance de chaque bobine est donc : L = 2 henry. Sa résistance a été supposée égale à 0,6 ohm. Pour constituer une telle bobine sans fer, il faut prendre environ 500 m de fil d'une résistance de 2 ohms par mille et l'enrouler sur une bobine de 12,7 cm de diamètre intérieur et de 30,48 cm de longueur.

On traiterait de même le cas d'un câble sous-marin et on peut être conduit dans ce cas à employer des bobines à noyau magnétique, enfouies sous la gaine du câble, et présentant, dans de faibles proportions, des courants de Foucault et des pertes hystérétiques.

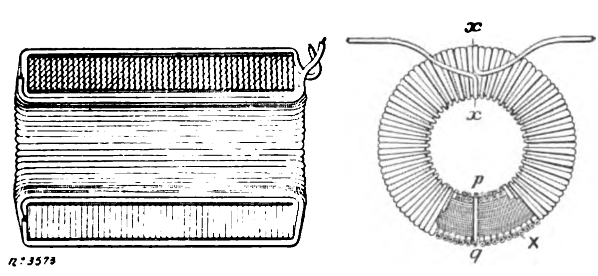


Fig. 14 et 15.

Dans les figures 14 et 15, imaginons un anneau d'acier de 2 cm et demi de diamètre intérieur, de 6 cm et demi de diamètre extérieur et de 2 cm d'épaisseur, présentant une fente étroite en $p\,q$. Construisons avec de pareils anneaux, empilés de façon à donner une longueur voulue, un noyau de 10 cm de long : la figure 14 représente la section transversale et la figure 15 une vue de bout d'un pareil anneau, enroulé de deux couches de fil ayant une résistance de 8 ohms et demi par mille. Chaque couche de fil présente 48 tours, sa longueur est de 24 m et sa résistance ohmique est par suite faiblement supérieure à 125 ohms. Il s'ensuit que 8 bobines réparties sur un mille de longueur ajouteront 1 ohm par mille à la résistance de la ligne supposée de 5 ohms. Pour calculer l'inductance, il est nécessaire de connaître la perméabilité du fer. En téléphonie, la valeur maximum du courant au poste expéditeur est généralement inférieure à 0,0001 ampère, ou 0,00001 en unités C. G. S.; la force magnétomotrice du circuit magnétique pour cette valeur du courant magnétisant est égale à :

$$M = 4\pi SC = 4\pi \times 96 \times 10^{-5}.$$

L'intensité H de la force magnétisante sera :

$$\frac{M}{l} = H,$$

où l est la longueur moyenne du circuit magnétique, égale à 10 cm, donc :

$$H = \frac{4\pi \times 96}{10^6} = 0{,}0012.$$

Pour des forces magnétisantes excessivement faibles comme celles dont il s'agit, la perméabilité magnétique μ du fer de bonne qualité est d'environ 180 (Voir Ewing dans *Magnetic Induction in Iron and Other Metals*, p. 119, notamment sec. 87). L'intensité de

l'induction magnétique sera : $B = 180 \times 0{,}0012 : 0{,}22$ lignes d'induction par centimètre carré. A cette très faible valeur de l'induction, l'hystérésis est négligeable (Voir Ewing). Il devient alors facile de calculer l'inductance de la bobine. La formule est :

$$L = \frac{4\pi S^2 q \mu}{l \times 10^9}$$

où S est le nombre de tours = 96; q = la section du noyau en centimètres carrés = 20; μ = la perméabilité = 180; l = longueur moyenne du circuit magnétique = 10 cm; L = 0,042 henry.

Le diamètre de la bobine, une fois terminée, sera inférieur à 50 mm et sa longueur 11 cm; une telle bobine peut facilement se placer sous la gaine d'un câble sous-marin, encore est-il facile d'en réduire le diamètre en augmentant sa longueur. Il est bon de faire observer que des bobines à noyau magnétique ne donneront pas de conditions satisfaisantes si on ne prend pas la précaution de maintenir l'aimantation et l'hystérésis à une faible valeur. Il n'est cependant pas à craindre de dépasser la limite d'aimantation permise même au cas où le courant magnétisant serait 32 fois plus grand que ce que nous avons supposé ci-dessus, c'est-à-dire atteindra une valeur de 3 milliampères (voir Ewing), intensité suffisante pour commander les appareils téléphoniques. Il faut encore observer que le noyau de fer représenté dans les figures 11 et 12 peut être fait d'un fil de fer très fin convenablement enroulé, disposition qui présente encore l'avantage de réduire les courants de Foucault et de les supprimer presque entièrement.

La section du noyau ainsi constitué de fil devrait être un peu supérieure à celle du noyau fait de tôle en raison des vides plus considérables subsistant dans les intervalles.

Ce qui précède fait bien comprendre l'application de notre invention à la téléphonie et à la télégraphie, mais l'invention s'applique encore aux transports de force par courants alternatifs. Pour n'employer que les procédés les plus simples et les plus directs, nous avons réalisé ci-dessus l'accroissement de réactance de la ligne par l'introduction de simples bobines ; il y a cependant diverses manières d'obtenir le même effet. Par exemple, il est possible de pourvoir chaque bobine de réactance d'un enroulement secondaire contenant un condensateur. En ajustant la capacité du condensateur, on peut accroître ou diminuer dans de grandes limites l'inductance et la résistance de la bobine même. Les deux bobines simples décrites ci-dessus constituent une excellente méthode pour arriver au même résultat. Tous ces arrangements augmentent la réactance de la ligne par unité de longueur, par l'adjonction de ce que nous avons appelé *source de réactance*, l'idée fondamentale de l'invention consistant à transmettre l'énergie avec une faible intensité de courant, à ajuster, en vue de ce résultat, la réactance de la ligne et à diminuer ainsi les pertes calorifiques et l'atténuation correspondantes. Ce que nous avons dit des vibrations imprimées par une source étrangère s'applique aussi aux vibrations propres. L'équivalence entre un conducteur continu et un discontinu subsiste encore pour des courants ondulatoires comme ceux qui sont observés en télégraphie parce que chaque impulsion du courant équivaut à une série d'ondulations simples ayant des rapports harmoniques : il en résulte donc qu'un conducteur à réactance se comportera comme le conducteur uniforme correspondant pour les transmissions télégraphiques ordinaires, si le conducteur satisfait à la règle donnée ci-dessus pour une fréquence dont la période est suffisamment faible en comparaison de la durée de l'ondulation communiquée ; il convient que le rapport soit égal à 25 au plus.

Nous avons décrit jusqu'ici des conducteurs à réactance équivalent assez exactement à des conducteurs uniformes pour toutes les fréquences inférieures à une fréquence donnée,



et nous avons spécifié l'emploi de 16 bobines par longueur d'onde correspondant à cette fréquence ; souvent il suffit d'une moindre exactitude, et par conséquent d'un nombre moindre de bobines. Dans tous les cas la construction et la distribution des bobines de réactance dépendront de la nature de la force électromotrice employée et de la forme de l'onde de courant résultant, en même temps que de l'atténuation permise, et le calcul de ces bobines sera facile à faire d'après la règle donnée ci-dessus.

W. BLACKSTONE.

SUR L'EXCITATEUR DE HERTZ

ET SON APPLICATION A LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

Pour expliquer les phénomènes qu'il a découverts, Hertz a supposé que le mouvement de l'électricité dans l'excitateur était comparable au mouvement d'un pendule ou à la décharge oscillante d'un condensateur et que la résistance opposée au mouvement par la distance explosive était de même ordre que celle d'un conducteur métallique.

Cette hypothèse n'est pas appuyée par l'expérience, car les observations directes que l'on a faites sur la résistance d'un tube de Geissler (ou plutôt sur le rapport entre la force électromotrice et l'intensité du courant) ont donné constamment des valeurs de dix à mille megohms environ pour cette résistance (1). Les mêmes résultats ont été obtenus par M. Drude pour le transformateur de Tesla et le résonateur de Hertz (2). Pour la décharge d'une bobine de Ruhmkorff dans l'air libre, j'ai aussi obtenu de pareilles valeurs en employant la durée observée de l'auréole pour ce calcul (3).

Enfin, MM. Hagenbach et Zehnder (4) ont soulevé une autre objection contre l'hypothèse de Hertz, c'est que le phénomène doit nécessairement dépendre de ce qui se passe dans la bobine induite, et l'on sait par expérience que l'étincelle visible se compose d'un nombre d'étincelles élémentaires, lesquelles éclatent toujours dans le même sens, comme on peut l'observer au moyen d'un miroir tournant; Hertz suppose que la décharge doit être alternative.

Enfin, l'hypothèse hertzienne semble être insuffisante, parce que l'on n'a pas réussi à en déduire les effets merveilleux de distance que l'on a réalisés pratiquement dans la télégraphie. Il ne reste alors à prouver que l'on n'a pas besoin d'une hypothèse et que l'on peut calculer les phénomènes sans une supposition quelconque. C'est le but du travail suivant, et, quoiqu'il doive paraître bientôt dans *Annalen der Physik*, j'ai cru utile de le publier ici à cause de l'importance de ce sujet.

L'excitateur de Hertz ou l'oscillateur est composé de deux parties égales, lesquelles ont la même résistance R_1 et le même coefficient de self-induction L_1. Soit γ la capacité de chaque boule de la distance explosive et $2\gamma_1$ la capacité du condensateur, par lequel sont séparées les deux branches de l'excitateur. Chaque branche de l'excitateur primaire a donc à ses bouts les capacités γ et γ_1 (fig. 1). Enfin, soit R_2 la résistance de l'excitateur secondaire, L_2 son coefficient de self-induction et C_2 sa capacité. Par μ sera désigné le coefficient d'induction réciproque entre le résonateur et chaque branche de l'excitateur primaire. On supposera que le mouvement excité par une étincelle élémentaire soit amorti avant l'éclatement de l'étincelle suivante, une supposition qui est confirmée par la comparaison de la durée d'une oscillation hertzienne et le temps qui s'écoule entre les étincelles partielles d'une seule rupture de la bobine:

(1) S. ARRHENIUS, *Wied. Ann.*, t. XXXII, p. 545, 1887.

(2) P. DRUDE, *Wied. Ann.*

(3) K.-R. JOHNSON, *Annalen der Physik*, t. IV, p. 137 et 722, 1901.

(4) HAGENBACH et ZEHNDER, *Wied. Ann.*

Si la quantité d'électricité Q_0 est subitement transportée de la boule γ de la branche I (fig. 1) à l'autre boule γ de la branche II, il en résulte, dans la première branche, un excès de potentiel dans le demi-condensateur γ_1 au delà du potentiel de la boule γ, et dans la seconde branche on aura la même différence de potentiel, mais c'est alors la boule γ qui a un potentiel plus grand. Ces différences de potentiel donnent naissance à un courant qui passe de γ_1 à γ dans la branche I, et à un autre courant dans la branche II dirigé de γ vers γ_1. Le premier courant est réfléchi au bout γ et le second au bout γ_1 et, par conséquent, ils changent de direction en même temps. Ainsi, on aura pour le mouvement dans la branche I les équations suivantes :

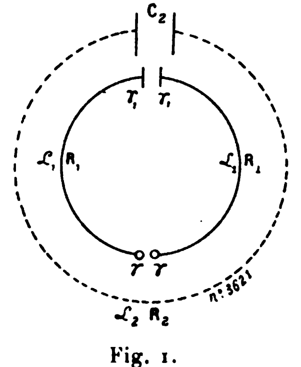


Fig. 1.

$$\left.\begin{aligned} L_1 \frac{di_1}{dt} + \mu \frac{di_2}{dt} + R_1 i_1 &= V - V_1 \\ i_1 = -\gamma \frac{dV}{dt} &= \gamma_1 \frac{dV_1}{dt}, \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

si l'on désigne par V le potentiel du demi-condensateur, par V_1 celui de la boule et par i_1 et i_2 les courants primaire et secondaire. Le mouvement dans la branche II étant parfaitement égal à celui dans la branche I, il ne faut pas s'en occuper. Seulement, il sera utile d'observer que par L_1 est exprimée la somme du coefficient de self-induction d'une branche et du coefficient d'induction réciproque des deux demi-oscillateurs.

Pour l'excitateur secondaire, on aura les équations :

$$\left.\begin{aligned} L_2 \frac{di_2}{dt} + 2\mu \frac{di_1}{dt} + R_2 i_2 &= E_2 \\ i_2 &= -C_2 \frac{dE_2}{dt}, \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

où par E_2 est désignée la différence de potentiel du condensateur, dont la capacité est C_2. A cause de l'influence des deux branches primaires, l'induction réciproque est représentée par le terme $\mu \frac{di_1}{dt}$ deux fois.

Les équations (1) sont transformées par l'introduction de la capacité C_1, définie par la formule

$$C_1 = \frac{\gamma\gamma_1}{\gamma + \gamma_1} \qquad (3)$$

et par l'introduction de la différence $E_1 = V - V_1$; en éliminant i_1 et i_2 entre les équations (1) et (2), on aura les relations suivantes :

$$\left.\begin{aligned} L_1 C_1 \frac{d^2E_1}{dt^2} + \mu C_2 \frac{d^2E_2}{dt^2} + R_1 C_1 \frac{dE_1}{dt} + E_1 &= 0 \\ L_2 C_2 \frac{d^2E_2}{dt^2} + 2\mu C_1 \frac{d^2E_1}{dt^2} + R_2 C_2 \frac{dE_2}{dt} + E_2 &= 0. \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

Pour la solution de ces équations différentielles simultanées, on obtiendra l'équation caractéristique

$$(L_1C_1z^2 + C_1R_1z + 1)(L_2C_2z^2 + C_2R_2z + 1) = 2\mu^2C_1C_2z^4. \qquad (5)$$

En désignant par $-q_1 \pm p_1\sqrt{-1}$ et $-q_2 \pm p_2\sqrt{-1}$ les racines de cette équation, on trouvera facilement que les relations entre les racines et les coefficients de l'équation algébrique (5)

donnent les formules suivantes :

$$\left.\begin{aligned}
2(q_1+q_2) &= \frac{\frac{R_1}{L_1}+\frac{R_2}{L_2}}{\Delta} \\
p_1^2+q_1^2+p_2^2+q_2^2+4q_1q_2 &= \frac{L_1C_1+L_2C_2+C_1R_1+C_2R_2}{L_1C_1L_2C_2\Delta} \\
2q_2(p_1^2+q_1^2)+2q_1(p_2^2+q_2^2) &= \frac{C_1R_1+C_2R_2}{L_1C_1L_2C_2\Delta} \\
(p_1^2+q_1^2)(p_2^2+q_2^2) &= \frac{1}{L_1C_1L_2C_2\Delta},
\end{aligned}\right\} \quad (6)$$

où par Δ est désignée la différence

$$\Delta = 1 - \frac{2\mu^2}{L_1L_2},$$

Donc, l'intégration des équations différentielles (4) donnera

$$E_2 = X_1e^{-q_1t}\sin p_1t + Y_1e^{-q_1t}\cos p_1t + X_2e^{-q_2t}\sin p_2t + Y_2e^{-q_2t}\cos p_2t$$

où X_1 Y_1, X_2 et Y_2 sont des constantes arbitraires. Pour E_1, on aura une expression qui n'est différente de celle de E_2 que par les valeurs des constantes arbitraires, mais nous nous bornerons ici à regarder les phénomènes secondaires.

On a pour $t=0$, c'est-à-dire à l'instant où la quantité d'électricité Q_0 est subitement transportée d'une boule γ à l'autre

$$(E_1)_0 = -\frac{Q_0}{\gamma} = -\frac{Q'_0}{C_1},\ (E_2)_0 = 0,\ (i_1)_0 = 0 \text{ et } (i_2)_0 = 0.$$

Ainsi, en employant les équations (1), (2) et (4), on aura pour E_2 et ses dérivées les valeurs

$$(E_2)_0 = 0, \left(\frac{dE_2}{dt}\right)_0 = 0;\ \left(\frac{d^2E_2}{dt_2}\right)_0 = -\frac{2\mu Q'_0}{L_1C_1L_2C_2\Delta}\cdot\left(\frac{d^3E_2}{dt^3}\right)_0 = \frac{2\mu Q'_0}{L_1C_1L_2C_2\Delta}\cdot\frac{\frac{R_1}{L_1}+\frac{R_2}{L_2}}{\Delta}$$

ou à cause des formules (6)

$$\left.\begin{aligned}
(E_2)_0 = 0, \left(\frac{dE_2}{dt}\right)_0 = 0,\ \left(\frac{d^2E_2}{dt^2}\right)_0 &= -2\mu Q'_0(p_1^2+q_1^2)(p_2^2+q_2^2), \\
\left(\frac{d^3E_2}{d.^3}\right)_0 &= 4\mu Q'_0(q_1+q_2)(p_1^2+q_1^2)(p_2^2+q_2^2).
\end{aligned}\right\} \quad (8)$$

De la formule (7), on peut déduire les équations suivantes nécessaires pour déterminer les constantes arbitraires ;

$$\left.\begin{aligned}
&Y_1+Y_2=0 \\
&X_1p_1+X_2p_2-Y_1q_1-Y_2q_2=0 \\
&2q_1.X_1p_1+2q_2.X_2p_2+Y_1(p_1^2-q_1^2)+Y_2(p_2^2-q_2^2)=2\mu Q'_0(p_1^2+q_1^2)(p_2^2+q_2^2) \\
&(3q_1^2-p_1^2)X_1p_1+(3q_2^2-p_2^2)X_2p_2+(3p_1^2-q_1^2)Y_1q_1+(3p_2^2-q_2^2)Y_2q_2 \\
&\qquad = 4\mu Q'_0(p_1^2+q_1^2)(p_2^2+q_2^2)(q_1+q_2).
\end{aligned}\right\} \quad (9)$$

Si l'on désigne par D la différence

$$D = p_1^2+q_1^2-(p_2^2+q_2^2)$$

et par P le produit

$$P = (p_1^2+q_1^2)(p_2^2+q_2^2),$$

on aura de la deuxième et de la troisième des équations (9)

$$\left.\begin{aligned}
2(q_1-q_2).X_1p_1 &= 2\mu Q'_0P + Y_1[2q_1(q_1-q_2)-D] \\
2(q_1-q_2)X_2p_2 &= -2\mu Q'_0P + Y_1[D-2q_2(q_1-q_2)].
\end{aligned}\right\} \quad (10)$$

En substituant ces valeurs de $X_1 p_1$ et $X_2 p_2$ dans la quatrième équation, on aura

$$\left.\begin{aligned} Y_1 = -Y_2 &= \frac{2\mu Q'_0 PD}{N} \\ N &= D^2 + 4(q_1 - q_2)[q_1(p_2^2 + q_2^2) - q_2(p_1^2 + q_1^2)]. \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

En substituant ces valeurs de Y_1 et Y_2 dans les formules (10), on a

$$\left.\begin{aligned} X_1 &= \frac{2\mu Q'_0 P}{Np_1} \cdot \{2[q_1(p_2^2 + q_2^2) - q_2(p_1^2 + q_1^2)] + q_1 D\} \\ X_2 &= -\frac{2\mu Q'_0 P}{Np_2} \cdot \{2[q_1(p_2^2 + q_2^2) - q_2(p_1^2 + q_1^2)] + q_2 D\} \end{aligned}\right\} \qquad (12)$$

Cas spécial. — Supposons que les quantités C_1R_1 et C_2R_2 soient égales; on peut les remplacer par CR et on peut donc évaluer exactement les racines de l'équation caractéristique (5). La solution est donnée par M. Blümcke [1], et il suffit de citer les valeurs qu'il a données :

$$\left.\begin{aligned} q_1 &= \frac{CR}{L_1C_1 + L_2C_2 - \rho} \\ q_2 &= \frac{CR}{L_1C_1 + L_2C_2 + \rho} \\ p_1^2 + q_1^2 &= \frac{L_1C_1 + L_2C_2 + \rho}{2L_1C_1 L_2C_2\Delta} \\ p_2^2 + q_2^2 &= \frac{L_1C_1 + L_2C_2 - \rho}{2L_1C_1 L_2C_2\Delta}. \end{aligned}\right\} \qquad (13)$$

où par ρ est désigné le radical

$$\rho = \sqrt{(L_1C_1 + L_2C_2)^2 - 4L_1C_1L_2C_2\Delta} = \sqrt{(L_1C_1 - L_2C_2)^2 + 8\mu^2C_1C_2}.$$

Cela supposé, on a aussi

$$q_2(p_1^2 + q_1^2) = q_1(p_2^2 + q_2^2)$$

et l'on peut écrire, au lieu des formules (11) et (12), tout simplement :

$$\left.\begin{aligned} Y_1 = -Y_2 &= \frac{2\mu Q'_0 P}{D} = \frac{2\mu Q'_0}{\rho} \\ X_1 &= \frac{2\mu Q'_0 P}{D} \cdot \frac{q_1}{p_1} = \frac{2\mu Q'_0}{\rho} \cdot \frac{q_1}{p_1} \\ X_2 &= -\frac{2\mu Q'_0 P}{D} \cdot \frac{q_2}{p_2} = -\frac{2\mu Q'_0}{\rho} \cdot \frac{q_2}{p_2}. \end{aligned}\right\} \qquad (12\,a)$$

Il est évident que la quantité

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu}{\sqrt{(L_1C_1 - L_2C_2)^2 + 8\mu^2C_1C_2}},$$

laquelle est comprise dans toutes les formules (12 *a*), est entièrement indépendante du coefficient d'induction réciproque, si la condition de résonance $L_1C_1 = L_2C_2$ est remplie.

M. Bjerknes a mesuré la différence de potentiel du résonateur au moyen d'un électromètre, et ainsi il convient de calculer l'indication d'un électromètre dans le circuit secondaire. Il sera supposé que le mouvement excité par une seule étincelle est amorti avant que l'étincelle suivante éclate, et, par conséquent, que les effets des étincelles diverses peuvent être ajoutés l'un à l'autre. Si n désigne le nombre des étincelles partielles qui jaillissent dans l'unité de temps, et E l'indication de l'électromètre, dont la constante est K, on a

$$E = K.\sqrt{n\,\partial}, \qquad (14)$$

[1] A. Blümcke, *Wied. Ann.*

où l'intégrale $\mathfrak{J}$ est définie par la relation

$$\mathfrak{J} = \int_0^\infty E_2^2 dt. \tag{14a}$$

En substituant dans cette relation la valeur de E_2 donnée par la formule (7) ci-dessus, on trouvera :

$$\begin{aligned}\mathfrak{J} = \frac{X_1^2+Y_1^2}{4q_1} + \frac{X_2^2+Y_2^2}{4q_2} + \frac{2p_1X_1Y_1 - q_1(X_1^2-Y_1^2)}{4(p_1^2+q_1^2)} + \frac{2p_2X_2Y_2 - q_2(X_2^2-Y_2^2)}{4(p_2^2+q_2^2)} \\ + \frac{(p_1-p_2)(X_1Y_2-X_2Y_1)+(q_1+q_2)(Y_1Y_2+X_1X_2)}{2[(p_1-p_2)^2+(q_1+q_2)^2]} \\ + \frac{(p_1+p_2)(X_1Y_2+X_2Y_1)+(q_1-q_2)(Y_1Y_2-X_1X_2)}{2[(p_1+p_2)^2+(q_1+q_2)^2]}.\end{aligned}$$

En employant les formules (12 *a*), c'est-à-dire pour $C_1R_1 = C_2R_2$, la valeur de $\mathfrak{J}$ sera réduite à la forme

$$\begin{aligned}\mathfrak{J} = \left(\frac{2\mu Q'_0}{\rho}\right)^2 \Big\{ \frac{p_1^2+q_1^2}{4p_1^2q_1} + \frac{p_2^2+q_2^2}{4p_2^2q_2} + \frac{q_1(3p_1^2-q_1^2)}{4p_1^2(p_1^2+q_1^2)} + \frac{q_2(3p_2^2-q_2^2)}{4p_2^2(p_2^2+q_2^2)} \\ + \frac{q_2(p_1^2-q_1^2)+q_1(p_2^2-q_2^2)}{2p_1p_2[(p_1-p_2)^2+(q_1+q_2)^2]} - \frac{p_1^2q_2+p_2^2q_1+(q_1+q_2)(2p_1p_2-q_1q_2)}{2p_1p_2[(p_1+p_2)^2+(q_1+q_2)^2]}\Big\}. \end{aligned} \tag{15}$$

Si la distance du résonateur à l'excitateur primaire est très grande, on aura pour $L_1C_1 = L_2C_2$ les valeurs de p_1 et p_2 à peu près égales entre elles et de même q_1 et q_2. La fonction comprise entre $\{\}$ peut donc être réduite en supposant $p_1 = p_2$ et $q_1 = q_2$, et on aura la valeur approchée

$$\mathfrak{J} = \left(\frac{2\mu Q'_0}{\rho}\right)\Big\{\frac{5p_1^2+3q_1^2}{8p_1^2q_1} + \frac{3q_1(3p_1^2-q_1^2)}{8p_1^2(p_1^2+q_1^2)}\Big\} \tag{16}$$

ou

$$\mathfrak{J} = \frac{4\mu^2Q_0'^2}{(L_1C_1-L_2C_2)^2+8\mu^2C_1C_2}\Big\{\frac{5p_1^2+3q_1^2}{8p_1^2q_1} + \frac{3q_1(3p_1^2-q_1^2)}{8p_1^2(p_1^2+q_1^2)}\Big\} \tag{16a}$$

Ainsi la valeur de $\mathfrak{J}$ est indépendante du coefficient d'induction réciproque pour $L_1C_1 = L_2C_2$, c'est-à-dire si la condition de résonance est remplie. Par conséquent, L'INDICATION DE L'ÉLECTROMÈTRE, donnée par la formule (14), EST DANS CE CAS INDÉPENDANTE DE LA DISTANCE ENTRE LE RÉSONATEUR ET L'OSCILLATEUR. Que les conditions

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{C_2}{C_1}$$

soient nécessaires, nous ne pouvons pas le décider sans une discussion des formules générales, mais elles sont du moins suffisantes. La manière la plus simple de réaliser pratiquement ces conditions est de faire les conducteurs parfaitement égaux entre eux.

K.-R. JOHNSON.



PHASEMÈTRE FRANK HOLDEN

On sait qu'un système triphasé équilibré jouit de la propriété suivante : si le facteur de puissance est égal à l'unité, le courant dans une des lignes est en quadrature avec la force électromotrice entre les deux autres. Cette propriété sert de principe à l'appareil suivant qui permet d'indiquer la différence de phase entre les forces électromotrices et les courants d'un système triphasé ; nous verrons plus loin comment on peut en faire l'application à un système monophasé.

La figure 1 représente l'appareil et en fait comprendre le fonctionnement :

Deux bobines semblables D,D sont montées en série sur la ligne A de part et d'autre d'un

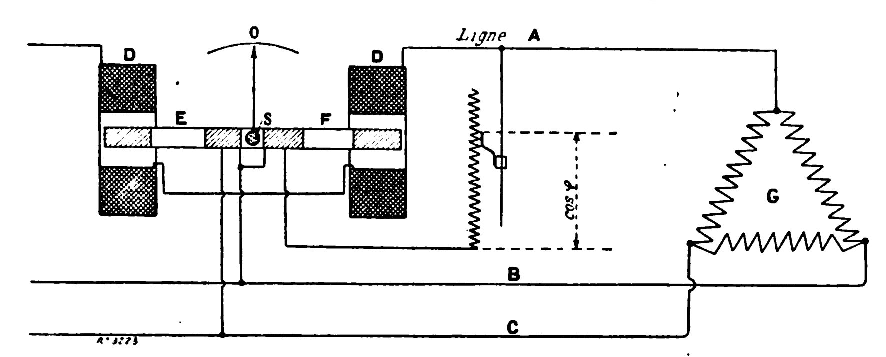


Fig. 1. — Schéma du phasemètre Frank Holden pour courants triphasés.

équipage mobile composé de deux bobines E et F pouvant tourner autour de l'axe S. La première de ces bobines E est montée en permanence entre les lignes B et C, et une résistance en série avec elle limite à la valeur voulue la perte d'énergie dans le circuit. La bobine F, solidaire de la première et montée entre A et B, en série avec un rhéostat réglable, sert à compenser l'action des bobines fixes sur l'équipage mobile, ainsi qu'on le verra plus loin. Il est évident que si le facteur de puissance de l'alternateur triphasé G est égal à l'unité, le couple moyen exercé par les deux bobines D, D sur la bobine mobile E, est nul, en raison des relations de phase signalées plus haut.

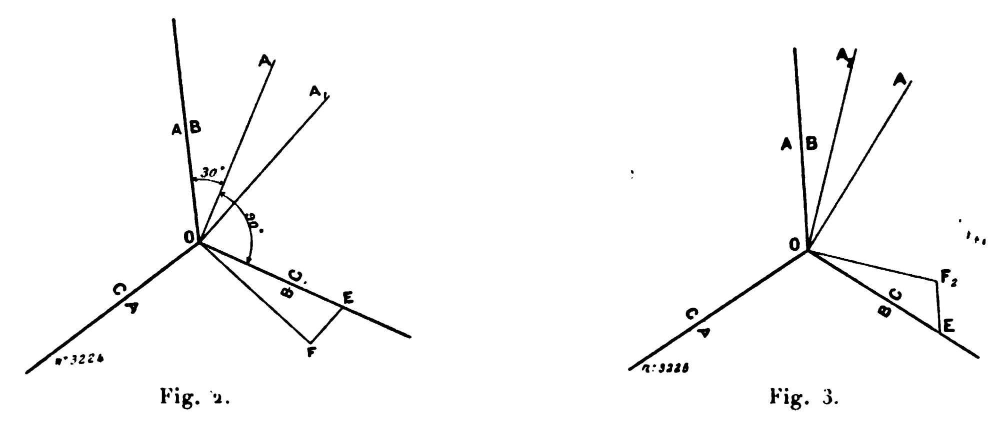


Fig. 2. Fig. 3.

On peut donner du fonctionnement de l'appareil la représentation géométrique suivante (fig. 2) : les vecteurs AB, BC et CA représentent les différences de potentiel entre les lignes correspondantes, et le vecteur A représente le courant dans la ligne A, en retard de 30° sur la force électromotrice AB, ou en avance de 90° sur la force électromotrice BC quand le facteur de puissance est égal à l'unité.

Si le facteur de puissance est inférieur à 1, c'est-à-dire le retard du courant supérieur à 30° (A_1), le couple moyen agissant sur la bobine E cesse d'être nul et tend à produire une déflexion. Or, l'équipage mobile est libre de se déplacer, et ce déplacement peut être accusé par une aiguille.

L'effet magnétique de la bobine E est représenté par un vecteur de direction BC, de longueur OE par exemple : si on monte la bobine F entre les lignes CA en série avec une grande résistance, l'effet magnétique sur la bobine F est représenté par un vecteur de direction CA, de grandeur et position EF par exemple. La résultante de ce vecteur avec OE peut donner un vecteur OF perpendiculaire au courant A_1, ce qui réalise les premières conditions, c'est-à-dire que, de nouveau, l'équipage mobile n'est soumis à aucun couple.

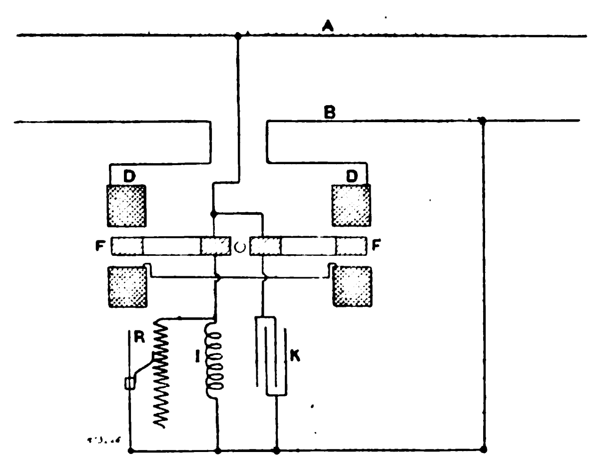


Fig. 4. — Schéma pour courants alternatifs simples.

La connaissance des résistances employées permet de calculer l'angle EOF et par conséquent l'angle AOA_1, qui lui est égal : on connaît donc indirectement le retard des courants, ou le facteur de puissance.

Si la résistance du circuit E est constante, chaque valeur particulière de la résistance en série avec F détermine un angle correspondant EOF. Si donc cette résistance en série avec la bobine F est constituée avec un rhéostat continu, à chaque valeur du retard de phase correspond une position du rhéostat pour laquelle l'équipage mobile reste au o : sur chaque position de l'index de ce rhéostat peut être marquée la valeur du facteur de puissance correspondant.

Supposons maintenant que les courants présentent une avance de phase (A_2 par exemple) (fig. 3) on dérive la bobine F entre A et B au lieu de la dériver entre C et A : il est facile d'établir que l'angle d'avance correspondra aux mêmes constantes que l'angle égal de retard précédemment repéré. C'est-à-dire qu'il n'y a qu'un double transfert à opérer sur la bobine F et sur le rhéostat en série avec elle et ce dernier conserve son étalonnage.

Si on se propose d'appliquer le même principe dans le cas d'un courant alternatif simple, on peut opérer de la manière suivante. Il suffit de se reporter aux figures 4 et 5.

Les bobines D, D, E et F sont identiques aux premières : en série avec la bobine E est ajoutée une impédance I constituée par une bobine à noyau magnétique et à faible entrefer. La résistance propre de la bobine E est établie de manière à donner une très faible chute de potentiel avec le courant traversant le circuit.

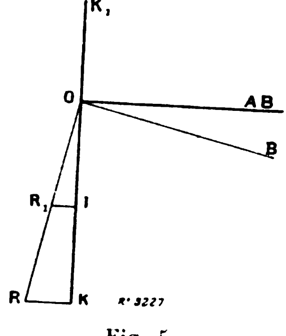


Fig. 5.

En dérivation sur cette impédance I est montée une résistance variable de valeur élevée R.

En série avec l'autre bobine F est monté seulement un condensateur K (dans le but de compenser l'influence des variations de fréquence, ainsi qu'on le verra plus loin).

Reportons-nous à la figure 4 et faisons abstraction pour le moment de la bobine F, comme dans le premier cas : les éléments ajoutés à la bobine E permettent de créer dans cette bobine un champ résultant de phase OR_1 perpendiculaire à la phase OB dans la ligne. Le vecteur AB représente, comme dans le premier cas, le voltage de ligne quand les relations de phase sont celles que nous avons indiquées. Les bobines D, D n'exercent aucun couple sur la bobine E et l'angle de retard R_1 OI, égal à AOB, est déterminé par la résistance R, comme précédemment.

Tout ceci est exact avec une fréquence de courant rigoureusement constante : au cas où la fréquence subirait des variations, il en résulterait pour le courant traversant l'impédance I des

variations inverses, de sorte que l'angle $R_1 OI$ ne serait pas strictement déterminé, en raison de l'incertitude de la valeur numérique du vecteur OI.

On évite cette difficulté par l'emploi d'un condensateur en série avec la bobine F, monté de façon que les efforts exercés sur l'équipage mobile, d'un côté par l'intermédiaire de l'impédance I et de l'autre par l'intermédiaire du condensateur K, soient égaux et s'ajoutent (de façon à donner dans la figure 5 le vecteur $OK = OI + IK$.

Alors se produit la compensation suivante : le courant du condensateur étant directement proportionnel à la fréquence, alors que le courant de l'impédance lui est inversement proportionnel, il s'ensuit que de faibles variations de la fréquence en modifient peu la somme : à des variations de 20 p. 100 de la fréquence correspondent pour celle-ci des variations de 2 1/2 p. 100 ; à 10 p. 100, 1,1 p. 100 ; à 5 p. 100, 0,13 p. 100.

Pour le degré d'exactitude nécessaire en pratique, on peut employer soit l'impédance seule, soit l'impédance et le condensateur.

Faisons remarquer aussi que l'emploi d'une seule bobine E pour les deux courants R et I introduit une faible erreur, et qu'il y a intérêt, pour la rendre négligeable, à prendre aussi petites que possible l'impédance et la résistance de E.

P. Letheule.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

MACHINES DYNAMOS

Dispositif Siemens et Halske pour faire varier l'excitation d'un électro de champ. — Brevet allemand 114067, en date du 10 novembre 1899, accordé le 12 octobre 1900.

Dans les électro-aimants, la grandeur du champ étant dans un rapport constant avec le nombre des ampèretours qui peuvent être disposés sur les bobines, le changement du nombre d'ampèretours fait changer la valeur du champ. Ce changement peut s'obtenir soit en modifiant l'intensité du courant d'excitation, soit en faisant varier le nombre des tours utilisés, soit en employant simultanément les deux modes précédents. Il est bien certain d'ailleurs que, comme on réalise dans la construction la force magnétique maxima que l'on peut atteindre étant données les dimensions possibles de l'enroulement, toute variation ne peut être qu'une diminution de la force magnétique.

La tension de la distribution reste sensiblement constante et l'on doit maintenir également constante l'intensité, de sorte que la résistance du circuit, dans lequel est insérée la bobine dont on veut modifier l'excitation, doit rester la même. Si donc on agit en mettant hors circuit une partie de l'enroulement, on devra insérer simultanément dans le circuit une résistance égale à celle que l'on aura supprimée.

La figure 1 représente une disposition de ce genre pour moteur en dérivation avec deux inducteurs *a a* en vue d'obtenir 7 valeurs différentes du nombre des ampèretours. Chaque inducteur se compose d'une partie *m* continuellement en circuit et d'une partie complémentaire divisée en 6 sections *n*. Une résistance auxiliaire *c* complète le système. Le commutateur produisant successivement les connexions représentées schématiquement de 1 à 7 au-dessous de la figure 1, permet d'obtenir 7 valeurs différentes de l'excitation, tout en maintenant constante l'intensité du circuit inducteur. On voit que le nombre d'ampères-tours peut varier de

$$(2m + 12n)\,I$$

à

$$2m\,I.$$

Cette disposition nécessite 16 câbles reliant le commutateur au moteur et 23 bornes de liaison.

Le dispositif Siemens et Halske a le grand avantage de diminuer le nombre de ces fils et de ces bornes. C'est ainsi qu'avec 4 câbles et 8 bornes on peut obtenir la même graduation que dans l'exemple ci-dessus.

La figure 2 représente schématiquement le mode de connexions qui permet cette importante simplification.

Chaque inducteur *a* se compose encore d'une partie $w + 3v$, invariablement en circuit et d'une partie modifiable $3v$. Les résistances

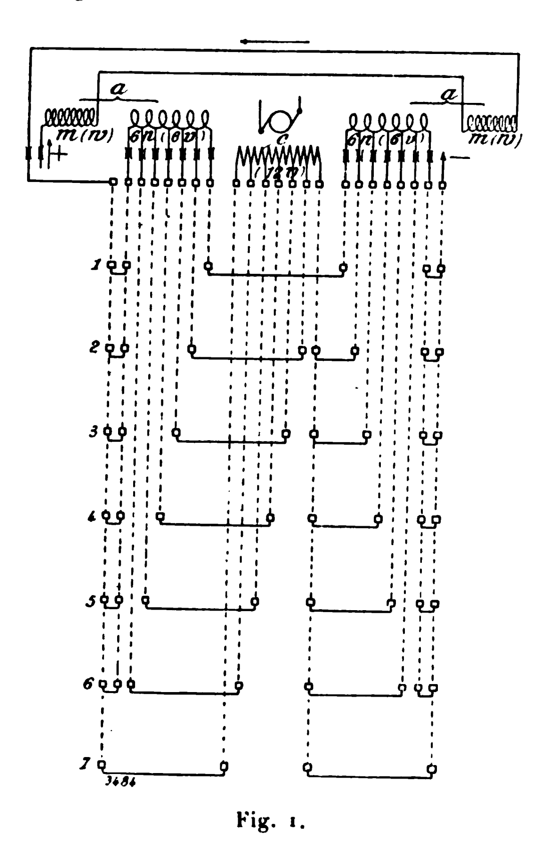


Fig. 1.

auxiliaires $d = 3v$, $e = 6v$ et $f = 12v$ complète le système.

Dans la position 1, le nombre des ampères-tours est de $(2m + 12n)$ I; les positions successives laissent la résistance totale du circuit constamment égale à $2w + 12v$ et font varier le nombre des ampèretours jusqu'à $2m$ I.

Lorsque la partie modifiable $3v$ est en série avec une des résistances auxiliaires, une autre partie de ces résistances se trouve en dérivation pour compléter la résistance totale.

Cette disposition simplifiée s'applique d'une manière analogue aux machines multipolaires et aussi bien aux dynamos-série qu'aux dynamos-shunt, ou simplement aux électros.

Elle paraît particulièrement avantageuse pour les moteurs de tramways, avec lesquels les

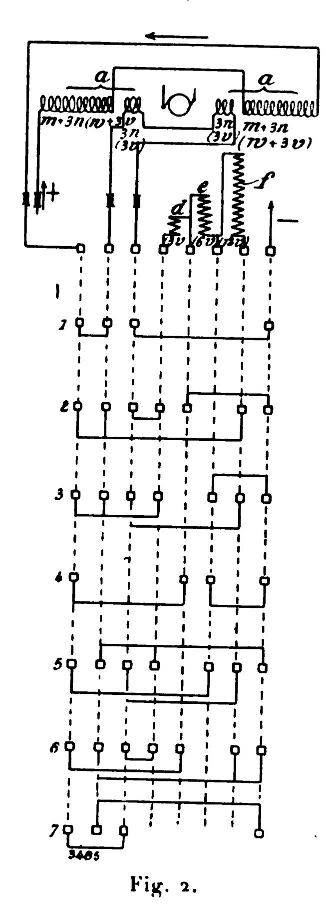


Fig. 2.

connexions multiples sont toujours forts embarrassantes. G. G.

Système Rougé et Faget de montage de balais tournants. Brevet français n° 307735, pris le 1er février 1901.

Ce porte-balai se compose de deux branches *ch* presque équilibrées (fig. 2, 3 et 4). La branche *c*, qui porte le balai *b*, possède un excès de poids, de façon que par la force centrifuge, le balai tend à s'écarter du collecteur *a*. Mais un contrepoids *d*, que la force centrifuge tend à faire tourner dans le sens de la flèche, agit par l'intermédiaire d'un ressort *e* sur le porte-balai pour surmonter la tendance à l'écartement et appliquer le balai *b* sur le collecteur avec une prsssion qui va en croissant avec la vitesse. Cet accroissement devient de moins en moins important à mesure que la vitesse augmente, car la masse *d* est disposée de telle sorte que, au fur et à mesure que le ressort *e* s'allonge, l'effet de

la force centrifuge sur *d* augmente de moins en moins, attendu que la direction *gk* (fig. 2) se rapproche de la direction radiale.

La figure 1 donne une idée de la courbe des pressions du balai aux différentes vitesses, et montre que cette pression varie fort peu quand la vitesse s'écarte même considérablement dans un sens ou dans l'autre de la vitesse normale *v*.

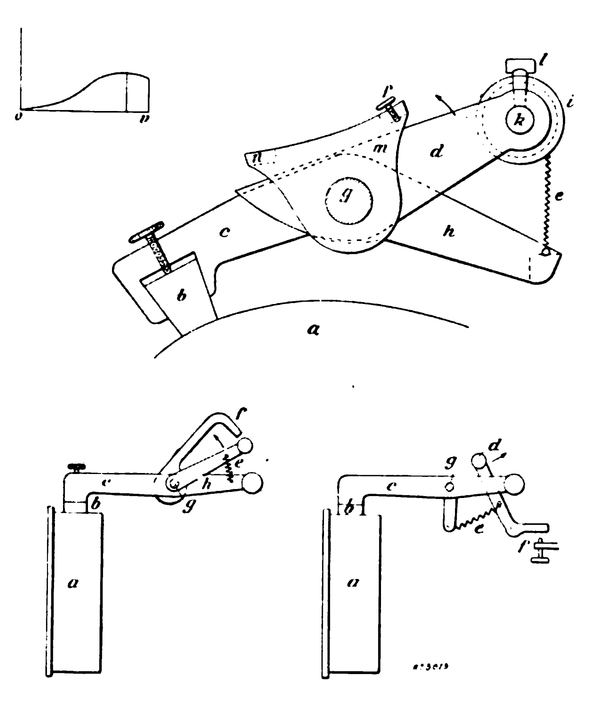


Fig. 1 à 4.

Lorsque la tension du ressort est suffisante, la masse *d* rencontre la butée *f*, et à partir de cet instant, son action n'augmente plus avec la vitesse. Si la vitesse croît encore, comme l'action d'écartement du porte-balai augmente seule, la pression du balai diminue, mais toutefois assez lentement pour rester sensiblement constante.

Il est d'ailleurs facile de régler cette pression, soit en changeant la position de la butée *f*, soit en bandant plus ou moins le ressort *e*, soit en agissant des deux manières à la fois.

Pour faciliter le réglage de la butée, celle-ci peut être constituée par une vis, comme l'indiquent les figures 2 et 4.

Afin que l'on puisse facilement régler le ressort *e*, celui-ci peut venir s'enrouler sur une petite bobine telle que *i* (fig. 2), qu'une vis de serrage *l* permet de faire tourner et d'immobiliser sur un axe *k* faisant partie de la masse supplémentaire *d*.

La masse *d* peut être montée soit sur le même axe *g* que le porte-balai comme sur les figures 2 et 3, soit sur un axe différent comme sur la figure 4. Dans un cas comme dans l'autre, les axes de pivotement du porte-balai *c h* et de la masse *d* peuvent être, soit parallèles (fig. 2), soit perpendiculaires (fig. 3 et 4) à l'axe du collecteur.

Dans l'exemple de la figure 2, la butée *f* est portée par une pièce *m* qui est montée sur l'axe *g* du porte-balai et de la masse *d*. Cette pièce *m* porte encore une butée *n* qui limite le mouvement du bras *d* de façon à empêcher la partie *h* du porte-balai de venir au contact du collecteur.

Plusieurs porte-balais, accompagnés chacun d'une masse additionnelle *d*, peuvent être montés sur le même axe *g*, lorsque le collecteur est très large.

A. Nunès.

Moteurs à vitesses variables au moyen de pôles mobiles de la Société Couffinhal et fils et de M. Wagner. Brevet français n° 308 304 pris le 16 février 1901.

Dans les moteurs à courant continu, on obtient ordinairement les variations de vitesse en introduisant des résistances soit dans l'inducteur soit dans l'induit. Mais les variations de vitesse ne sont pas très étendues et les rendements diminuent considérablement.

Un autre procédé consiste à faire varier la réluctance du circuit magnétique, en modifiant la grandeur de l'entrefer. La réaction d'induit diminue à mesure que l'entrefer augmente; la production des étincelles est ainsi reculée jusqu'à des écarts assez considérables de vitesse. Les courants inducteurs et induits restent constants. L'écartement des pôles est limité par la dispersion nuisible du flux.

Dans ces conditions, les vitesses varient par degrés insensibles et dans des limites étendues, la puissance et le rendement restent constants, et l'importance du moteur eu égard à sa vitesse minima est réduite le plus possible.

Pour produire l'écartement des pôles on peut employer divers dispositifs, dont l'un est indiqué par la figure 1.

Il suffit de faire tourner l'arbre *d*; le mouvement des pôles est obtenu au moyen des deux vis *aa* à pas contraires, sur lesquelles sont calés

deux engrenages *bb* actionnés par deux pignons *cc* montés sur l'arbre de commande *d*.

On peut aussi supprimer l'arbre de commande et agir directement sur deux volants, en les manœuvrant de façon à conserver un entrefer égal pour les deux pôles.

On emploiera des dispositifs analogues pour les machines multipolaires.

Ces moteurs trouvent surtout leur application dans les machines-outils. On supprime ainsi l'emploi des cônes, qui ne donnent qu'un nombre limité de vitesses différentes, avec des écarts assez considérables. On peut supprimer les transmissions intermédiaires et les courroies par l'application directe du moteur.

Ces moteurs servent aussi à la commande d'appareils divers, tels que des appareils de levage, essoreuses, broyeuses, tramways, automobiles, etc... A. Nunès.

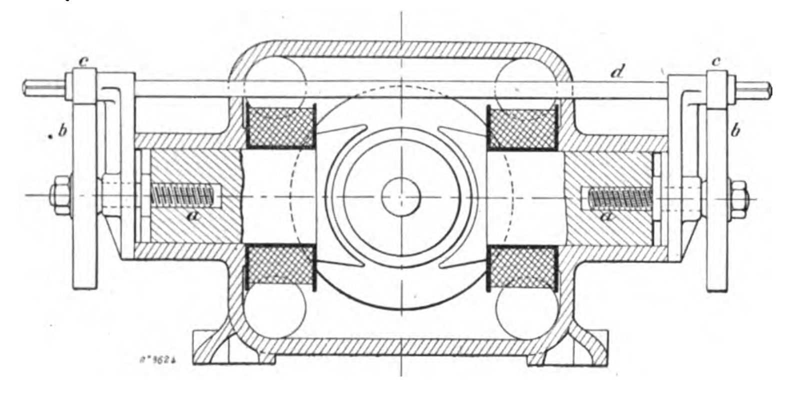


Fig. 1.

DIVERS

Sur l'effet magnétique de la convection électrique et sur les expériences de Rowland et de Crémieu, par **Harold A. Wilson**. *Philosophical Magazine*, 6e série, t. II, p. 144-150, juillet 1901.

Dans ce mémoire l'auteur cherche à démontrer que les résultats négatifs obtenus par M. Crémieu dans ses expériences faites en vue de mettre en évidence l'effet magnétique de la convection électrique et le phénomène réciproque, doivent être attribuées plutôt aux méthodes employées qu'à la non existence de ces effets.

En raison de l'importance théorique du sujet et de la délicatesse des considérations exposées par M. Wilson, nous croyons devoir reproduire *in extenso* ce mémoire à la préparation duquel les professeurs J.-J. Thomson et Larmor ont contribué.

« Je considérerai d'abord, dit M. Wilson, l'expérience faite par M. Crémieu pour déceler l'effet électrostatique d'un champ magnétique variable (1). Dans cette expérience, un disque AB (fig. 1) est fixé à une charpente rectangulaire ABCD suspendue par un fil E. Ce disque entoure un électro-aimant NS et est chargé au moyen d'une batterie dont un des pôles est

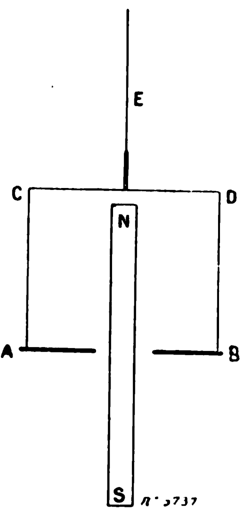


Fig. 1.

connecté au fil E. Pendant l'expérience le courant magnétisant et la charge du disque sont alternativement renversés. On s'attendait à ce que l'effet électrostatique du renversement de polarité de l'électro-aimant ferait tourner le disque et tordrait le fil. Aucune rotation ne put être

(1) *Écl. Électr.* t. XXV, p. 131, 20 octobre 1900.

observée et M. Crémieu conclut que l'effet en question n'existe pas. »

Il est facile de calculer le couple impulsif exercé sur le disque quand la polarité de l'aimant est renversée. Mais il est aussi facile de voir que ce couple est compensé par un autre résultant du renversement de la charge du disque [1].

Aussi M. Wilson conclut-il : « Par conséquent, lorsque la charge et la polarité de l'électro-aimant sont alternativement renversées, le couple résultant moyen est nul et le disque ne doit pas tourner, ainsi que M. Crémieu l'a observé.

« Comme l'existence de l'action exercée par un champ magnétique sur un courant ne soulève aucun doute, *il s'en suit que l'expérience de M. Crémieu peut être regardée comme prouvant indirectement l'existence d'une action électrostatique égale et opposée due au renversement de l'aimantation, car si cette dernière n'existait pas, M. Crémieu aurait dû observer la première.*

» Je considérerai maintenant les expériences faites par M. Crémieu en vue de déceler le champ magnétique produit par la convection électrique [1].

» Dans ces expériences, un disque chargé, en ébonite recouvert d'une couche d'or divisée en secteurs, est mis en mouvement à l'intérieur d'un tambour en laiton. Les extrémités du tambour parallèles au disque sont recouvertes de mica, lui-même recouvert d'une couche d'or divisée en secteurs. Avec cette disposition aucun champ magnétique extérieur ne put être décelé, mais en enlevant les bases du tambour et laissant les feuilles de mica, on put observer un petit effet, que M. Crémieu attribue aux courants induits dans les secteurs recouvrant le mica par le passage des secteurs du disque.

» Il est cependant facile de s'apercevoir que les faces en laiton du tambour doivent annuler l'effet cherché, car il se produira dans les secteurs et ces faces, par suite de la rotation du disque, des courants qui équivaudront à un courant égal et opposé au courant que porte le disque. Si les plaques de laiton sont enlevées, l'effet ne pourra être observé complètement, à moins que l'isolement des secteurs du disque et des lames de mica ne soit parfait [2]. Rowland,

---

[1] « Si dQ est un élément de la charge sur le disque situé à une distance r du centre et H l'induction magnétique totale à travers l'électro-aimant, le couple impulsif exercé sur le disque, quand la polarité est renversée, est

$$\int\int \frac{dH}{2\pi r dt} r dQ\, dt = \frac{1}{2\pi}\int\int dH dQ = \frac{H_0 Q_0}{\pi},$$

Q_0 étant la charge totale sur le disque, et H_0 l'induction totale à travers l'électro-aimant quand le courant a pris sa valeur de régime dans l'une ou l'autre direction.

« Quand la charge du disque est renversée, un courant se produit dans le fil de suspension et la monture ; puisque ces parties conductrices sont dans le champ de l'électro-aimant, un couple impulsif doit s'exercer sur la monture quand la charge est renversée.

« Considérons un élément de la monture de longueur dS situé dans une région quelconque de ABCD. Soit H le nombre de lignes de force coupées par cet élément si la monture et le disque faisaient un tour entier..

« Alors, l'électro-aimant étant symétrique autour d'un axe vertical, l'élément considéré se trouvera dans un champ d'intensité $\frac{dH}{2\pi r dS}$ perpendiculaire à sa propre direction. La force exercée sur cet élément est par conséquent $\frac{CdH}{2\pi r}$, où C désigne l'intensité du courant dans l'élément. Mais $C = \frac{1}{2}\frac{dQ}{dt}$, Q étant la charge du disque, le courant se séparant par moitié dans chacune des tiges de la monture.

« Le couple impulsif exercé sur la monture quand la charge est renversée est par conséquent,

$$-2\int\int \frac{dH}{2\pi r}\frac{r}{2}\frac{dQ}{dt}\, dt = -\frac{H_0 Q_0}{\pi},$$

car toutes les lignes de force traversant la section médiane de l'électro-aimant sont coupées par la monture quand celle-ci fait un demi-tour. »

[1] *Écl. Élect.*, t. XXV, p. 326, 24 novembre 1900 t. XXVI, p. 419, 16 mars 1901.

[2] Voici comment l'auteur établit ces assertions :

« Dans la figure 2, A représente l'une des plaques de laiton, B_1, B_2, les secteurs supportés par le mica, C_1, C_2, les secteurs du disque tournant ; quelques-unes des lignes de force sont également tracées. Considérons les secteurs C_1, B_1 et B_2. Lorsque C_1 se meut de gauche à droite, les lignes de force doivent franchir l'intervalle séparant B_1 et B_2. Pour cela chaque ligne se recourbe et vient toucher la plaque de laiton A, de telle sorte que deux lignes se trouvent ainsi formées : l'une partant de C_1 et aboutissant en A, l'autre partant de A et aboutissant en B_1. La ligne allant de C_1 à A se déplacera et donnera naissance à deux nouvelles : l'une allant de C_1 à B_2 et l'autre de B_2 à A. Les lignes courtes allant de A aux secteurs B_1, B_2, se déplaceront entre ces secteurs et la plaque de laiton et les lignes de l'une des extrémités d'un secteur neutraliseront celles de l'autre extrémité.

« Le mouvement de ces courtes lignes de force ne produira aucun champ magnétique car leurs extrémités

avec un appareil semblable obtenait l'effet complet, tandis que M. Crémieu n'en obtenait qu'une faible partie. Cette divergence semble indiquer que l'isolement des secteurs de Rowland était suffisamment bon, tandis que les secteurs de M. Crémieu n'étaient pas bien isolés.

» Dans leurs expériences, Rowland et Hutchinson se servaient d'un dispositif (1) qui est équivalent à celui de M. Crémieu, les faces du tambour étant enlevées. Ce dispositif est représenté schématiquement en figure 5. Deux disques

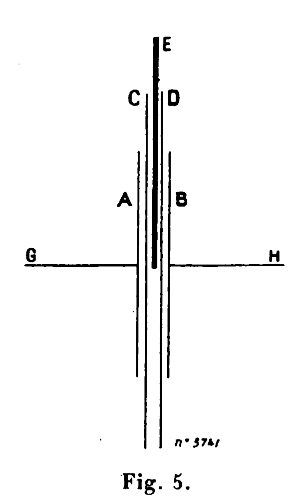


Fig. 5.

d'ébonite chargés, munis de secteurs métalliques, étaient montés sur un même axe GH. Deux plateaux de verre C et D, munis aussi de secteurs métalliques, étaient placés entre eux ; ces secteurs recevaient des charges de noms contraires à celles

positives et négatives se meuvent dans le même sens. Il en est également ainsi pour les extrémités positives et négatives des longues lignes de force s'étendant de C_1, C_2... à A, B_1, B_2... Leur ensemble constitue deux courants

Fig. 2.

parallèles égaux et opposés et ne produira qu'une très petite perturbation magnétique en dehors du tambour. Ainsi donc, dans ce cas, il n'y aura aucun champ magnétique extérieur au tambour et c'est ce que M. Crémieu a trouvé.

« Considérons maintenant le cas où les faces du tambour sont enlevées. Alors les lignes de force ne peuvent traverser les intervalles des secteurs qu'en produisant des lignes plus courtes entre ces secteurs, par exemple de B_2 à B_1 (fig. 3). Ces courtes lignes disparaîtront par

Fig. 3.

une neutralisation réciproque derrière les secteurs et, par conséquent, produiront un courant égal et opposé à celui produit par les extrémités négatives des longues lignes entre les deux séries de secteurs. Comme les secteurs C_1 se meuvent de gauche à droite, les lignes de force tendront à aller vers la droite, de sorte qu'une ligne s'étendant par exemple de C_1 à B_1, ira rencontrer B_2 et formera deux lignes, l'une de B_2 à B_1 et une autre de C_1 à B_2. Ainsi donc à chaque intervalle entre les secteurs, il y aura production continue de lignes s'étendant d'un des secteurs au suivant à travers l'intervalle. Une des extrémités d'un secteur tendra par conséquent à se charger positivement, l'autre extrémité à se charger négativement. Ces charges opposées se neutraliseront continuellement l'une l'autre, ce qui donnera bien naissance à un courant égal et opposé à celui résultant du mouvement des extrémités négatives des longues lignes de force le long des secteurs B_1... ; ce procédé de neutralisation est montré plus en détail en figure 4 où l'on a représenté seulement

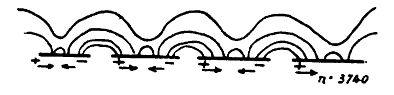


Fig. 4.

les lignes courtes et les charges correspondantes. Il suit de là que ce qui se passera en définitive sera un transport par les secteurs mobiles de la charge qu'ils portent, tandis qu'il y aura circulation d'électricité sur les secteurs fixes. Or, une telle circulation ne peut produire un champ magnétique, car autant d'électricité traversera chaque secteur dans une direction que dans la direction opposée. Par conséquent, dans ce cas, le mouvement du disque produira un champ magnétique. M. Crémieu l'a bien observé, mais seulement à un très faible degré et regarda ce résultat comme dû à des causes accessoires.

« Remarquons d'ailleurs que, dans ce qui précède, l'isolement des secteurs est supposé parfait. S'il en est autrement, les lignes de force situées entre les deux séries de secteurs s'échapperont dans l'intervalle séparant deux secteurs B_1, B_2..., au lieu de former les courtes lignes produisant les courants de compensation. Comme dans ces expériences, les courants réels sont toujours très petits tandis que l'intensité électrique entre les deux séries de secteurs est très grande, il est presque évident que, à moins que l'isolation des secteurs ne soit parfaite, les lignes de force s'échapperont presque toutes à travers les intervalles où l'isolement est mauvais, de sorte qu'il y aura simplement deux courants parallèles et opposés presque égaux et, par suite, qu'il n'y aura pas de champ magnétique. »

(1) *Philosophical Magarine*, t. XXVII, p. 445, 1889.



que supportaient les secteurs mobiles. Le champ magnétique était mesuré au moyen d'un équipage astatique, suspendu entre les plateaux de telle sorte que l'aiguille la plus basse se trouvât sur le prolongement des axes de rotation des disques ; un tube métallique renfermait ce système. La valeur du champ observé concordait bien avec la valeur calculée.

» Il est évident que ce dispositif est pratiquement identique à celui de Crémieu sans les armatures de laiton, de sorte que nous pouvons conclure que l'isolement entre les secteurs était, dans l'appareil de Rowland et Hutchinson, suffisamment bon pour empêcher les lignes de force de s'échapper entre les secteurs, et qu'il n'en était probablement pas ainsi dans l'appareil de Crémieu.

» Il est d'ailleurs utile de faire observer que les armatures de laiton de l'appareil de Crémieu ne doivent détruire l'effet magnétique que lorsqu'ils sont tout à fait proches des intervalles entre les secteurs métalliques supportés par le mica. Si en effet ils en sont à quelque distance, les lignes de force traverseront les intervalles entre secteurs sans atteindre les armatures (Voir note de la page 189), de sorte qu'un champ magnétique sera produit exactement comme si ces armatures n'existaient pas. C'est ainsi que le tube métallique protégeant le système astatique de Rowland était trop loin des intervalles laissés entre les secteurs des plateaux de verre pour être atteint par les lignes de force, et qu'il n'empêchait pas le champ magnétique d'être produit.

» En résumé :

1° Dans l'expérience de Crémieu faite en vue de déceler l'effet électrostatique d'un champ magnétique variable, il n'a pas été tenu compte de l'effet du champ magnétique sur les courants de charge, effet qui est précisément égal et opposé à celui que l'on recherchait.

» 2° Le résultat négatif de Crémieu constitue donc une preuve indirecte de l'existence d'un effet électrostatique d'un champ magnétique variable, et cet effet a la valeur prévue par la théorie.

» 3° Dans l'expérience de Crémieu faite en vue de répéter celle de Rowland, l'addition d'un écran métallique disposé très près des secteurs fixes avait pour résultat la production d'un courant compensant entièrement l'effet que l'on espérait observer (1).

» 4° Le résultat négatif de Crémieu dans l'expérience où l'écran était enlevé, est très probablement dû au défaut d'isolement de ses secteurs. »

Réponse à l'article de M. Wilson, par **V. Crémieu.** Communiquée par M. Crémieu.

Les objections de M. Wilson portent sur deux des expériences de M. Crémieu.

La première, relative aux recherches sur les forces pondéromotrices d'induction agissant sur un corps chargé placé dans un champ magnétique variable repose toute entière sur une erreur de M. Wilson. Celui-ci avait cru, d'après les figures publiées aux Comptes rendus dans les notes de M. Crémieu, qu'il s'était servi, comme inducteur, d'un électro-aimant vertical à noyau non fermé. Le champ extérieur d'un pareil aimant aurait, en effet, exercé sur le circuit de charge de l'appareil, une force électromagnétique égale et de sens opposé à celui des forces pondéromotrices d'induction. Mais M. Crémieu s'est constamment servi d'électro-aimants à noyaux entièrement fermés dont le champ extérieur est nul, ou en tous cas négligeable.

La première objection ne semble donc pas fondée.

La seconde est relative au rôle des secteurs fixes dans une des expériences effectuées avec des disques tournants. M. Crémieu fait observer que ce n'est que la répétition des objections déjà produites par M. Potier puis par M. Pocklington. Il y a répondu par deux expériences dans lesquelles tous les secteurs fixes étaient supprimés, et dont les résultats ont encore confirmé les précédents.

L'auteur se croit donc en droit de maintenir ses conclusions relatives à la non existence des effets magnétiques de la convection électrique et des effets inverses.

Etude des piles-étalons, en particulier de l'élément au cadmium de Weston, par **W. Jaeger** et **St Lindeck**. *Dr. Ann.*, t. V, p. 1-15, mai 1901 (2).

L'ensemble des mesures très soignées qui sont

(1) Rapprocher cette conclusion de celle la note de M. Potier (*Écl. Élect.*, t. XXV, p. 352, 1er décembre 1900).

(2) Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. XIV, p. 31, janvier 1898 ; t. XVI, p. 306, août 1898 ; t. XIX, p. 466, juin 1899

décrites dans ce mémoire ont porté sur des éléments de Clark et des éléments Weston de différente construction.

Tous ces éléments étaient en forme de H; ils comprenaient :

1° 17 éléments Weston au cadmium, avec du sulfate de cadmium cristallisé en excès et avec de l'amalgame d'une teneur un peu inférieure à 1/6 (à 13 p. 100);

2° 8 éléments Clark : deux de ces éléments se trouvèrent bientôt hors de service par suite de la rupture du verre du côté de l'amalgame : cet accident est assez fréquent, comme l'a signalé déjà Lord Rayleigh : il en résulte un désavantage marqué des éléments Clark sur les éléments Weston, dans lesquels semblable rupture n'a pas encore été observée à la Reichsanstalt;

3° 5 éléments construits comme ceux de l'European Weston Electrical Instrument Co, c'est-à-dire renfermant une dissolution de sulfate de cadmium saturée à + 4°, ce qui, d'après les tables de Mylius et Funk, correspond à 112,3 parties de sulfate dans 100 d'eau.

La force électromotrice de chaque élément est mesurée au moyen d'un potentiomètre de Feussner perfectionné. On constate l'équilibre au moyen d'un galvanomètre de Du Bois-Rubens dont la sensibilité est suffisante pour permettre d'apprécier le deux-cent millième de volt, le courant de compensation ayant une intensité de 0,0001 ampère.

L'élément est entièrement plongé dans un bain de pétrole, agité par deux turbines et dont la température est donnée par deux éléments fer-constantan.

En fait, la précision obtenue est très grande, puisque les plus grands écarts entre les valeurs trouvées pour le rapport $Cl_{15^\circ} : Cd_{20^\circ}$ ne dépassent pas le deux cent millième.

D'autre part, le plus grand écart entre les forces électromotrices des 17 éléments Weston est de 0,00003 volt.

Le résultat général des mesures de l'année 1899 est que :

$$Cl_{15^\circ} : Cd_{20^\circ} = 1,40679$$
$$Cl_{0^\circ} : Cd_{20^\circ} = 1,42283$$

et par conséquent :

$$Cl_{0^\circ} - Cl_{15^\circ} = 0,01634.$$

Les éléments renfermant la solution de sulfate non saturée présentent entre eux des écarts notablement plus grands que les éléments à solution saturée. Une année après la construction, ces écarts avaient encore augmenté.

Dans les éléments Weston construits avec l'amalgame à 13 p. 100, on n'observe, plus au voisinage de 0°, les irrégularités constatées sur les éléments renfermant l'amalgame à 14,3 p. 100. Il est impossible de fixer exactement la limite de température à partir de laquelle ces éléments anormaux reprennent une allure normale et peuvent de nouveau servir d'étalons. La limite qu'il faudrait assigner dépend du reste du degré de précision qu'on se propose d'atteindre. En tout cas, on peut réduire de beaucoup l'influence de ces irrégularités en adoptant comme force électromotrice normale la moyenne des forces électromotrices de plusieurs éléments.

La formule représentant la variation avec la température de la force électromotrice établie jusqu'ici pour les éléments avec amalgame à 14,3 p. 100 se vérifie d'une manière très satisfaisante aussi pour les éléments avec amalgame à 13 p. 100. La différence entre les forces électromotrices mesurées et les forces électromotrices calculées par la formule n'atteignent pas 0,00005 volt.

Dans le cas des éléments Clark, les écarts sont plus considérables.

D'après cette nouvelle série de mesures, les nombres donnés ci-dessus doivent être modifiés comme il suit :

$$Cl_{0^\circ} . Cd_{20^\circ} = 1,42282$$
$$Cl_{15^\circ} : Cd_{20^\circ} = 1,40667$$
$$Cl_{0^\circ} - Cl_{15^\circ} = 0,01645 \text{ volt.}$$

Les éléments au cadmium avec amalgame à 13 ou à 12 p. 100 ne montrent aucune irrégularité, même quand ils ont été maintenus toute une semaine à 0° : les expériences ont porté sur 80 éléments. Par conséquent, les éléments de ce type peuvent servir d'étalons à partir de 0° et au-dessus.

Les conclusions de M. Cohen (1) n'ont de valeur que pour les éléments construits avec l'amalgame à 14,3 p. 100 sur lesquels il a expérimenté.

M. L.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXV, p. 281, novembre 1900.

Le Gérant : C. NAUD.



Tome XXVIII. Samedi 10 Août 1901. 8e Année. — N° 32

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

ALTERNATEUR DE 180 KILOVOLTS-AMPÈRES DE LA SOCIÉTÉ L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

La Société l'Éclairage Électrique avait exposé, dans son stand, un alternateur à courants alternatifs simples dont la principale particularité était d'être établi pour fournir une tension de 30 000 volts, tension la plus élevée obtenue directement jusqu'ici.

Bien que cette machine, étudiée par M. E. Labour, soit plutôt une dynamo d'essai qu'un alternateur destiné à un service industriel, elle montre la possibilité d'obtenir, directement, des tensions beaucoup plus élevées que celles que l'on a admises jusqu'ici pour les alternateurs. Elle marque donc un progrès réel dans la construction des alternateurs au point de vue de l'obtention directe de tensions très élevées, et il est heureux de constater que cette tentative ait été menée à bien par une maison française.

L'alternateur à courants alternatifs simples de la Société l'Éclairage Électrique a une puissance de 180 kilovolts-ampères, son débit est donc de 6 ampères.

La fréquence de l'alternateur peut être variée de 40 à 60 périodes par seconde par variation de la vitesse. Pour la fréquence de 50 périodes par seconde, la vitesse angulaire est de 428 tours. Le nombre de pôles est de 14.

L'alternateur de 30 000 volts de la Société l'Éclairage Électrique est représenté sur la photographie de la figure 1. Les figures 2 et 3 sont des vues d'ensemble avec coupes partielles et les figures 4 et 5 des coupes et vues d'une partie de l'induit et de l'inducteur.

Inducteurs. — L'inducteur est formé par une jante polygonale en acier doux, portant les pôles inducteurs venus de fonte.

La jante a une section en forme d'U à branches courtes et est réunie au moyeu par deux séries de 4 bras.

L'inducteur est en une seule pièce et claveté sur l'arbre.

Les épanouissements polaires sont en acier doux et ont une section trapézoïdale, perpendiculairement à l'axe ; ils sont maintenus à l'extrémité des noyaux polaires par des boulons traversant complètement les noyaux et la jante et serrés à l'intérieur de celle-ci par des écrous avec contre-écrous.

Le diamètre extérieur maximum de la jante est de 100 cm et sa largeur de 53 cm.

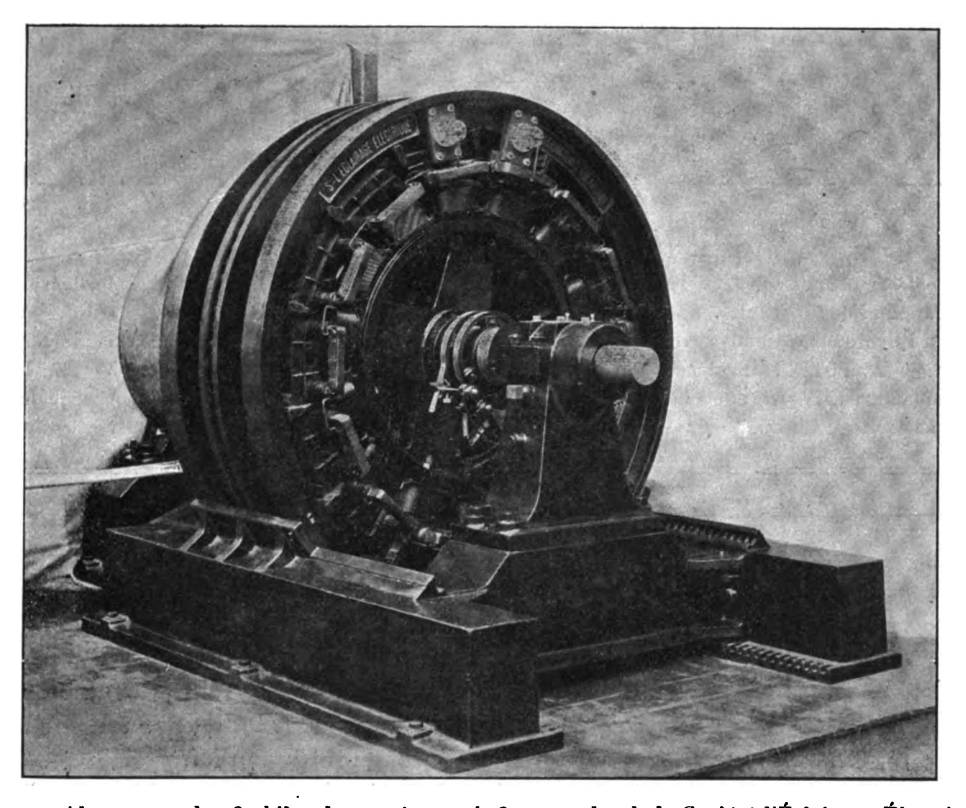


Fig. 1. — Alternateur de 180 kilovolts-ampères soit 30 000 volts de la Société l'Éclairage Électrique.

Le diamètre extérieur de l'inducteur est de 124,8 cm et la largeur des pièces polaires, dans le sens de l'axe, de 42 cm.

La largeur des pièces polaires est de 19 cm.

Les noyaux polaires ont une section rectangulaire de 42 cm de longueur et de 21,55 cm de largeur.

Les bobines inductrices sont enroulées sur des carcasses métalliques ; elles sont constituées à l'aide d'un fil de 7,1 mm de diamètre, soit 40 mm² de section ; chacune d'elles comporte 96 spires.

Toutes les bobines inductrices sont montées en série et le circuit obtenu est amené à deux bagues de contact sur lesquelles frottent des balais en connexions avec la source d'excitation.

La résistance du circuit d'excitation est de 0,37 ohm à chaud.

Le poids de cuivre employé sur l'inducteur est de 280 kg.

Le poids total du volant sans l'arbre est de 2 000 kg.

Induit. — La carcasse de l'induit est formée par une couronne en fonte en une seule



partie, et repose sur deux supports venus de fonte avec le bâti. Ces supports sont alésés concentriquement à l'induit qui peut ainsi tourner autour de son axe pour faciliter la visite et les réparations.

L'ensemble de l'induit peut, dans le même but, être glissé parallèlement à l'axe de façon à dégager complètement sa surface intérieure.

Le diamètre extérieur maximum de la carcasse de l'induit est de 185 cm et son diamètre intérieur de 158 cm. La largeur de la carcasse atteint 60 cm.

Le noyau des tôles induites en quatre parties est isolé magnétiquement de la carcasse et est soutenu par des bras radiaux en bronze à section en forme de T dont la tête vient s'engager dans des rainures ménagées sur des oreilles laissées sur les tôles. Ce dispositif est d'ailleurs identique à celui employé dans l'alternateur de 1 200 kilovolts-ampères de la Société l'Éclairage Électrique et que nous avons décrit précédemment.

Le diamètre d'alésage de l'induit est de 126 cm et sa largeur totale de 42 cm (y compris 3 intervalles de 10 mm ménagés pour la ventilation des tôles de l'induit) ; la hauteur radiale des tôles est de 10,5 cm. L'entrefer est de 6 mm.

L'enroulement est réparti dans des trous circulaires très voisins de la surface intérieure de l'anneau induit.

Le nombre de trous est de 42, soit 3 pôles, mais deux de ceux-ci seulement sont utilisés. Chaque bobine est enroulée dans deux trous de façon à embrasser sensiblement la surface d'un pôle de l'inducteur.

Les trous sont isolés par des

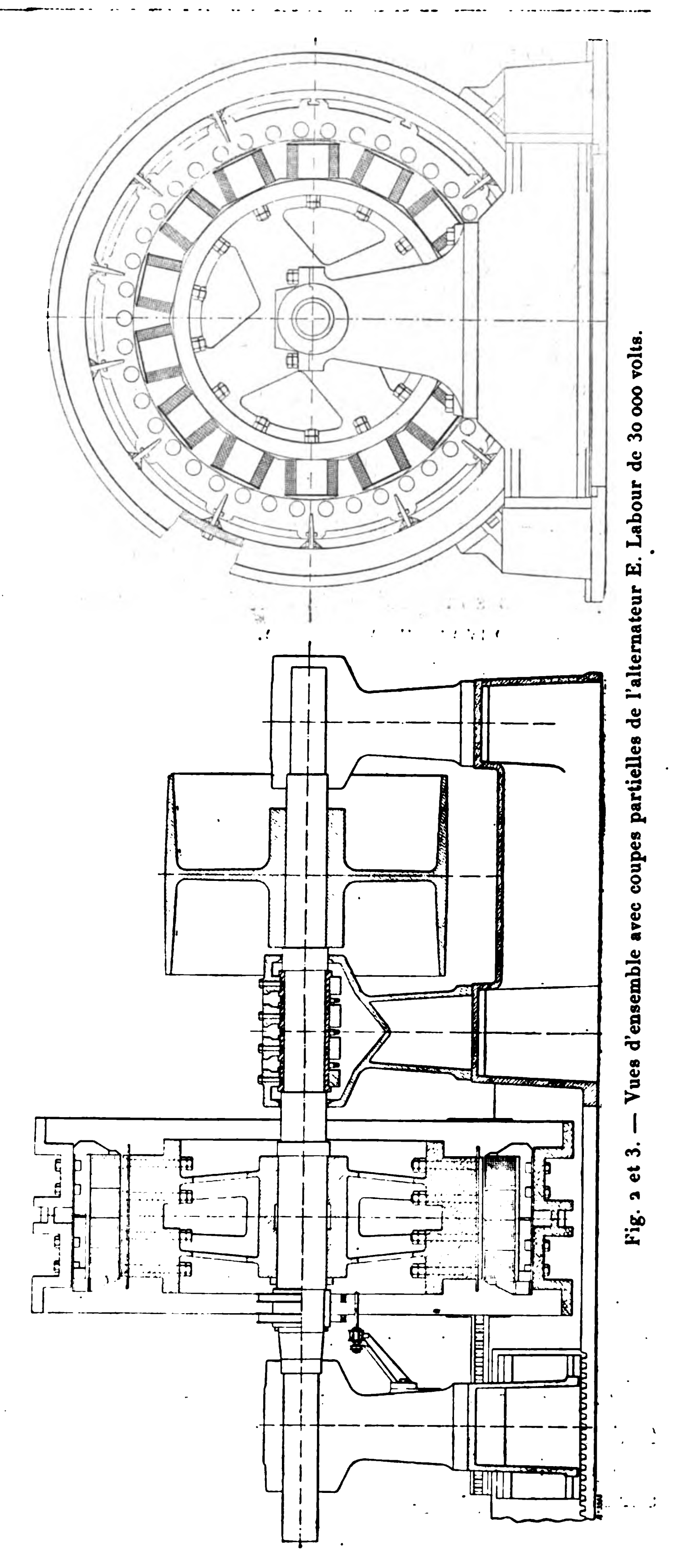


Fig. 2 et 3. — Vues d'ensemble avec coupes partielles de l'alternateur E. Labour de 30 000 volts.

tubes en micanite sans discontinuité et d'une épaisseur suffisante pour assurer une résistance parfaite à l'étincelle.

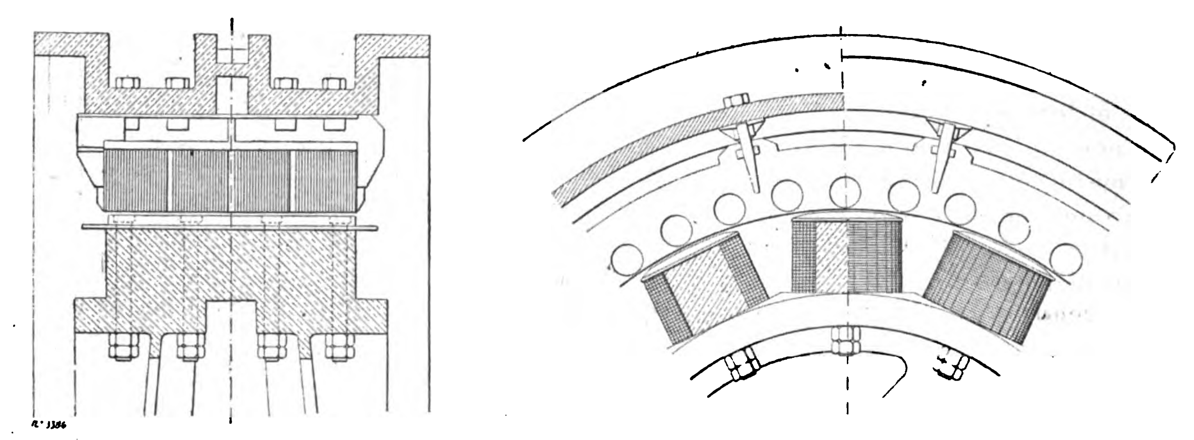


Fig. 4 et 5. — Coupes par l'axe et perpendiculaire à l'axe d'une partie de l'induit et de l'inducteur de l'alternateur Labour de 180 kilovolts-ampères.

Les tubes sont prolongés extérieurement au fer et les bobines sont bien dégagées de façon à se trouver à une distance suffisante de toute partie métallique.

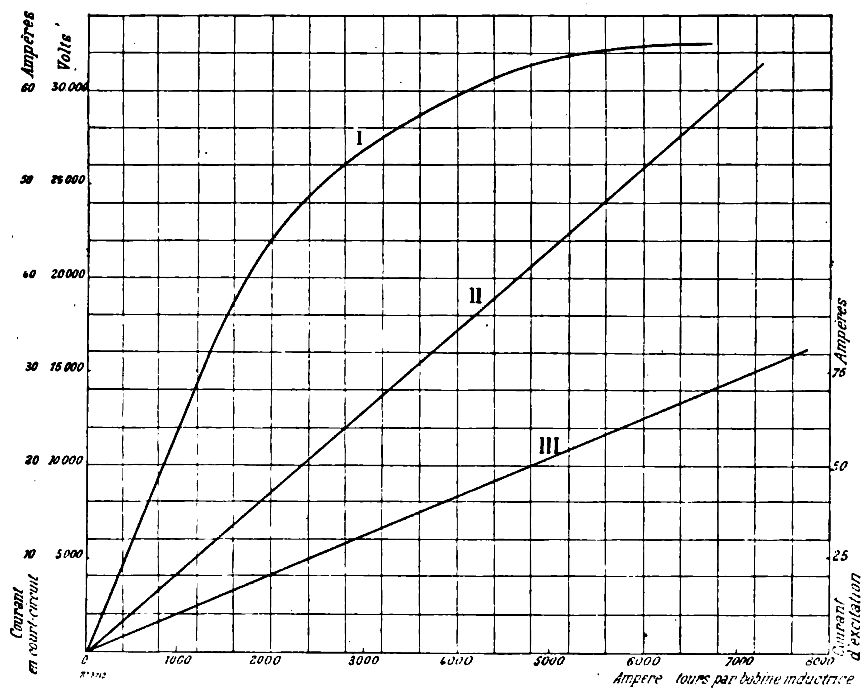


Fig. 6. — Caractéristiques de l'alternateur Labour de 180 kilovolts-ampères.

I. Caractéristique à vide. — II. Caractéristique en court circuit. — III. Droite de correspondance des ampèretours inducteurs par bobine au courant d'excitation.

Les 14 bobines de l'induit sont réunies en série, elles comportent chacune 156 spires de fil de 1,6 mm de diamètre réparties en 4 bobines élémentaires isolées entre elles.

La résistance totale du circuit induit est de 30 ohms à chaud et le poids de cuivre utilisé sur l'induit de 91 kg.

Les prises de courants sont disposées à la partie supérieure et isolées par des isolateurs spéciaux en porcelaine.

Résultats d'essais. — Nous avons représenté sur la figure 6 les caractéristiques à vide, pour une fréquence de 50 périodes par seconde et en court-circuit de l'alternateur de 30 000 volts de la Société l'Éclairage Électrique.

L'intensité du courant d'excitation nécessaire pour obtenir à vide la tension de 30 000 volts est de 42,5 ampères.

Le courant d'excitation correspondant à l'intensité normale de 6 ampères en court-circuit est de 8,1 ampères.

Le courant d'excitation calculé en pleine charge pour un facteur de puissance de 0,7 est de 104 ampères.

Le rendement de l'alternateur est de 92,5 pour cent; les pertes se décomposent de la manière suivante :

Pertes à vide (hystérésis, courants de Foucault et frottements)	4 860
Pertes par effet Joule dans l'induit	1 080
Pertes par excitation	4 000
Pertes totales	9 940

J. Reyval.

LES DRAGAGES DE CABLES SOUS-MARINS PAR GRANDS FONDS

I. — Les dragages constituent la partie la plus importante et la plus délicate des travaux de réparation de câbles sous-marins ; on pourrait même dire, d'une façon générale, des travaux de câbles sous-marins, car il arrive souvent qu'une simple campagne de pose se transforme en campagne de réparations, soit que des défauts se déclarent en cours de pose, soit que, ne pouvant poser le câble en une seule fois, on soit obligé de venir draguer, la bouée du câble ayant disparu.

Il n'est pas nécessaire d'insister sur le retard considérable que peuvent entraîner des dragages infructueux. D'abord, par grand fond, un dragage peut exiger une dizaine d'heures. Une série de quelques dragages infructueux occasionnera donc un retard de quelques jours, et peut-être de quelques mois, puisqu'on a à compter avec les éléments pour des travaux qui ne peuvent être effectués que par beau temps. Il est arrivé, non pas une seule fois, mais souvent, que de ce fait des dragages ont été infructueux, des opérations ont été manquées et ont dû être remises à l'année suivante.

Quelles sont les principales causes d'insuccès des dragages par grands fonds ?

Il y en a d'abord une qui est visible, que les indications du dynamomètre décèlent sûrement, c'est l'existence de rochers, très rares par les grandes profondeurs, mais qui s'y rencontrent néanmoins quelquefois ; on en a eu récemment deux exemples remarquables sur la ligne du câble transatlantique Brest-Cap Cod, où on a rencontré une première région de fonds rocheux dans la direction du nord des Açores, une seconde vers la limite du confluent du Gulf Stream et du courant du Labrador qui charrie les icebergs. Les grappins ordinaires crochent dans les rochers, s'en dégagent difficilement, soit par rupture, en tout cas par soubresauts et l'insuccès est très probable.

On peut essayer de remédier à cet inconvénient en munissant les grappins ordinaires de gardes arrondies fixées à la tige et précédant les dents d'un espace suffisant pour permettre au câble d'y entrer ; si un rocher se présente, l'effort de traction s'exerçant sur la garde arrondie, le grappin basculera et se dégagera.



L'idée première de ce perfectionnement remonte aux premiers dragages du *Great Eastern*, lorsque ce navire, après avoir posé avec succès, en 1866, le premier câble transatlantique, releva, le 2 septembre de la même année, le bout, perdu l'année précédente, du câble 1865.

Ce dispositif de garde paraît avoir eu surtout pour but à cette époque d'empêcher le câble une fois croché de s'échapper du grappin, dans les sauts brusques, sur un fond accidenté (¹).

Enfin, en 1898, M. Rouilliard a été conduit, en poursuivant une idée analogue, à imaginer, en cours de campagne, le grappin centipède à contredents, qui a donné par fonds rocheux des résultats très remarquables (²) ; et c'est en somme à l'invention de ce grappin qu'est dû le succès final de la pose du câble transatlantique français, à l'approche de l'hiver 1898 ; le développement des opérations ayant obligé de venir draguer le côté de Brest par des fonds de 3 000 m qui étaient rocheux.

On peut dire qu'actuellement, l'existence de fonds de rochers n'est plus une réelle cause d'insuccès des dragages.

Il arrive aussi que le fond de la mer soit en pente douce, qu'il n'y ait pas de roches, qu'on possède des données suffisamment exactes et sur le tracé du câble et sur la route de dragage, pour avoir la certitude de traverser le tracé du câble et que cependant des dragages soient infructueux. L'hypothèse faite le plus fréquemment pour expliquer cet insuccès est l'enlisement profond du câble, hypothèse pourtant bien invraisemblable lorsqu'il s'agit d'un câble même lourd, récemment posé par de grandes profondeurs, loin des côtes.

Partant de cette hypothèse de l'enlisement, on est conduit à utiliser des grappins à longues dents qui affouilleront profondément la vase.

Le grappin universel Rouilliard répond bien à ce but : il peut être muni de jeux de dents de longueurs différentes et les palettes disposées à l'arrière jouent le rôle du jas d'un ancre, raguant sur le fond comme le bâti d'une herse, tandis que l'une des dents s'enfonce dans la vase (³). Cependant, même en employant des grappins perfectionnés, réellement adaptés au but spécial poursuivi (⁴), on a encore des échecs. C'est qu'il y a d'autres causes d'insuccès des dragages que les causes provenant de la forme des grappins.

II. — Influence du filin de drague sur le succès des dragages. — Le grappin et sa chaîne sont reliés au navire par un filin ; or, on a l'habitude d'agir comme si ce filin n'avait pas d'influence réelle sur le dragage ; je veux dire que, ayant à draguer avec un nouveau type de filin là où on a déjà dragué avec un type différent, on ne change pas le mode de dragage.

Comparons les tableaux 1, 2 et 3 (voir page 203). Les numéros des dragages infructueux sont entre parenthèses. Les dragages indiqués dans ces tableaux sont comparables ; ils ont tous été faits dans la même région, par des profondeurs à peu près identiques, la nature du fond étant semblable.

Ils ont été faits dans les mêmes conditions, en observant les mêmes règles.

Le tableau 1 montre que sur 27 dragages, 6 ont été infructueux, soit 22 p. 100.

Le tableau 2 montre que sur 21 dragages, 17 ont été infructueux, soit 81 p. 100.

Le tableau 3 montre que sur 14 dragages, 7 ont été infructueux, soit 50 p. 100.

Les dragages des campagnes 1, 2 et 3 ont été faits d'après les mêmes règles, on a employé les mêmes grappins, mais on n'a pas employé les mêmes filins de drague, et le filin est le seul matériel qui ait changé à chacune de ces campagnes.

Donc *le filin employé pour draguer a une influence sur le succès du dragage*.

De quelle nature est cette influence ?

(¹) Wilkinson. — Submarine Câble Laying and Repairing, page 19.

(²) F.-G. de Nerville. — Nouveaux grappins (système Rouilliard) de la Société industrielle des téléphones pour le dragage des câbles sous-marins. *Annales télégraphiques*, mai-juin, 1899. *Écl. Élect.*, t. XXV, p. 67, 13 janvier 1900.

(³) F.-G. de Nerville. — *Loc. cit.*

(⁴) Pour la description des autres grappins spéciaux, voir l'excellent traité de Wilkinson « Special Grapnels » p. 24 et suivantes.



Le filin qui a donné le plus d'insuccès, 81 p. 100 (tableau 2), est le filin de la Corderie centrale pesant 0,660 kg par mètre dans l'eau de mer. C'est le plus léger.

Après vient le filin de l'Eastern (campagne n° 3) qui pesant 0,900 kg donne 50 p. 100 d'insuccès.

Enfin le filin des ardoisières d'Angers (campagne n° 1) qui est le plus lourd, 1,600 kg, donne le moins d'insuccès 22 p. 100, d'où le tableau suivant :

	Poids par mètre dans l'eau du filin de drague	Sur 100 dragages	
		Échecs	Succès
Campagne n° 1	1,6 kg	22	78
Campagne n° 2	0,9	50	50
Campagne n° 3	0,66	81	19

Ce tableau me semble parler de lui-même, et l'écart assez net pour qu'on soit autorisé à éliminer les autres causes d'insuccès, tels, par exemple, qu'erreur de position, et à affirmer qu'il y a relation de cause à effet entre la légèreté du filin de drague et l'insuccès des dragages. Ne consultant que la statistique, on serait conduit à émettre cette règle empirique : *Plus un filin de drague est léger dans l'eau, moins on a de chances de prendre le câble.*

La conclusion de cette règle serait le rejet systématique de l'emploi de filins de drague légers qui cependant réunissent les conditions mécaniques nécessaires au relèvement et qui, précisément à cause de leur légèreté, présentent des avantages multiples.

Mais avant de préconiser cette solution radicale, il conviendrait d'avoir expliqué comment il se fait qu'avec un filin plus léger on prenne le câble moins souvent qu'avec un filin plus lourd.

Les trois types de filins que nous avons considérés précédemment et qui donnent une variation si nette dans le pourcentage des succès ont à peu près la même surface extérieure ; l'eau exerce donc sur chacun d'eux pendant les dragages la même résistance au déplacement, et la force qui leur fait prendre une forme plus ou moins incurvée est leur poids par unité de longueur.

A première vue, avec un filin plus lourd, la courbe de la ligne de drague se rapprochera davantage de la verticale et par conséquent sera moins longue qu'avec un filin plus léger.

Donc pour avoir les mêmes chances de prendre le câble, il faut filer d'autant plus de touée que le filin est plus léger.

Et nous touchons du doigt la cause pour laquelle les insuccès ont été plus nombreux dans les campagnes n[os] 2 et 3 que dans la campagne n° 1. Nous pouvons presque affirmer déjà que c'est parce que, ayant filé la même touée avec des filins plus légers, on ne se trouvait qu'en apparence dans les mêmes conditions de dragage.

III. Dans quelle proportion la longueur a filer varie-t-elle avec le poids du filin ? Quelle touée faut-il filer ? Règle pratique de dragage. — Nous devons d'abord nous demander quelle est la forme de la courbe prise par le filin de drague dans l'eau.

Plaçons-nous dans le cas limite le plus voisin de la réalité et supposons que la vitesse de déplacement du navire soit nulle, c'est-à-dire que le navire exerce sur la drague un effort un peu moindre que celui qui entraînerait la chaîne et le grappin. La ligne de drague est tendue, mais ne se déplace pas. La forme qu'elle prend est la position d'équilibre d'un fil pesant flexible et inextensible. C'est la forme prise par les fils télégraphiques entre les poteaux qui les supportent. C'est une chaînette.

Pour draguer, il faut se déplacer ; une nouvelle force intervient autre que la pesanteur, la résistance qu'oppose l'eau au déplacement du filin de drague. Seulement, en draguant, on se déplace à très faible vitesse, un nœud à un nœud et demi au plus (environ 0,50 m à 0,75 m à la seconde).

L'expérience nous a montré qu'à cette faible vitesse la résistance opposée par l'eau au déplacement du filin de drague est absolument négligeable. J'ai pu, en effet, constater par les relèvements, pris au compas du navire, des deux bouées marque, et en donnant de temps en temps quel-

***

ques tours en avant à la machine motrice, que la tension de dragage se maintenait, le navire ne se déplaçant pas ; quant à l'angle que faisait avec l'horizontale la ligne de drague à l'avant du navire, il n'augmentait pas d'une façon appréciable.

Ainsi, on peut considérer la forme prise par la ligne de drague dans l'eau, à la faible vitesse de dragage qui ne devra pas dépasser 1 nœud et demi, comme une série de positions d'équilibre, c'est-à-dire comme une chaînette.

On remarquera que les flèches qui, dans le cas des fils télégraphiques, sont, pour les plus grandes portées, de quelques dizaines de mètres, sont, dans le cas actuel, de quelques milliers de mètres et qu'il ne serait plus légitime d'appliquer ici les formules ordinaires approchées consistant à assimiler la chaînette à une parabole.

Le principe des tables que j'ai publiées dans *L'Éclairage Électrique* du 21 mai 1898 est celui-ci : La chaînette, position d'équilibre d'un fil pesant de spécification connue, aura tous ses éléments déterminés lorsqu'on connaîtra deux quelconques des forces suivantes :

Poids d'une longueur de fil égale à la portée ; poids d'une longueur égale à la flèche ; poids total de la courbe ; tension au point le plus bas ; tension au point le plus haut.

Le rapport de deux quelconques de ces forces est un nombre sans dimensions, qu'on trouvera dans une des colonnes des tables. Pour savoir à quelle colonne il faut se reporter, il n'y a qu'à consulter les formules numérotées de 1 à 10.

On restera sur la même ligne horizontale, et les nombres lus sur cette ligne donneront par une simple proportion tous les éléments de la chaînette.

Revenons à la ligne de drague.

Il nous faut, pour la déterminer, connaître deux des forces indiquées ci-dessus :

1° L'une est toute connue, c'est le poids d'une longueur de filin égale à la flèche, c'est-à-dire à la profondeur de la mer à l'endroit où on drague ;

2° En outre, il faut pour draguer exercer dans le fond sur la chaîne et le grappin une force suffisante pour les traîner, les dents labourant la vase. Cette force est la tension t au point le plus bas de la chaînette, au point où la tangente à la chaînette doit être horizontale avec les grappins du type courant. La valeur minima exacte de cette tension variera un peu avec la nature du fond, mais l'expérience permet de fixer une fois pour toutes une valeur convenable assez forte pour cette tension. Dès que cette valeur sera donnée, la chaînette de dragage sera complètement déterminée, et tous ses éléments se calculeront immédiatement à l'aide des tables.

Règle de dragage :

« Pour draguer à une vitesse qui ne devra pas dépasser 1,5 nœud, on prendra pour tension de dragage dans le fond t, avec les grappins ordinaires, une tension supérieure de 30 p. 100 au poids de la chaîne et du grappin, tension qui ne devra pas être inférieure à 900 kg ; on filera la touée correspondante donnée par les tables ».

Pour calculer la touée, on divise le poids d'une longueur de filin égale à la profondeur par la tension dans le fond, soit 900 par exemple, on ajoute l'unité au nombre ainsi obtenu. On cherche dans la troisième colonne des tables (colonne Chu) le nombre le plus approchant. Le nombre lu sur la même ligne horizontale dans la colonne cot $\frac{\varphi}{2}$, donne la longueur à filer, en prenant comme unité de longueur la profondeur.

On peut appliquer cette règle sans avoir la moindre connaissance de formules mathématiques :

Exemple :

Soit à draguer par 2000 m de profondeur avec du filin pesant 0,9 kg par mètre dans l'eau.

Poids d'une longueur de filin égale à la profondeur :

$$0{,}9\text{ kg} \times 2000 = 1800\text{ kg} \quad \text{Chu} = 1 + \frac{1800}{900} = 3 \quad \text{Cot}\,\frac{\varphi}{2} = 1{,}40.$$



Il faudra filer 40 p. 100 de touée, soit 800 m. La longueur de la ligne de drague sera de 2800 m [1].

Mais pour draguer réellement, il ne suffit pas de filer la quantité nécessaire, il faut la filer dans des conditions convenables.

Il faut d'abord ne jamais sonder avec la drague, c'est-à-dire que la ligne de drague ne doit pas être verticale lorsque le grappin atteindra le fond.

On aura fait au préalable une série de sondages qui auront fait connaître le profil du fond.

Avant qu'une longueur égale à la profondeur ait été filée, la ligne de drague devra avoir pris une direction bien oblique ; le navire sera manœuvré en conséquence, à moins que cette direction oblique ne se prenne naturellement sous l'action du vent et du courant drossant le navire. Alors le grappin viendra crocher sur le fond sans que la chaîne qui reste tendue puisse se prendre dans une de ses branches comme celà est arrivé quelquefois. Et l'on voit immédiatement la cause de cet accident :

Un grappin quelconque est symétrique par rapport à sa tige, la position verticale est une position d'équilibre stable avec le type ordinaire des grappins. Si le grappin tombe verticalement sur le fond, il occupera la position verticale tant qu'une force oblique n'agira pas sur lui.

Avant que la chute de tension du dynamomètre ait indiqué le fond, avant que l'on ait mis le navire en marche doucement, avant que la traction exercée par le navire sur le filin se soit communiquée à la partie qui est au fond de la mer, la chaîne a eu tout le temps de se lover sur place et de se prendre dans une ou plusieurs branches du grappin [2].

Cet accident n'est pas toujours visible à la fin du relèvement, le grappin, pendant cette opération, ayant pu chavirer et reprendre sa position normale à l'arrière de la chaîne.

Il existe cependant deux types de grappins qui ne peuvent pas normalement conserver l'équilibre lorsque la tige est verticale. Le premier type est le type dit centipède, le second est le type du grappin universel coupant (système Rouilliard).

Le grappin Rouilliard a cet avantage de pouvoir être muni de plusieurs jeux de dents de longueurs différentes et par conséquent de pouvoir crocher un câble profondément enlisé, mais nous avons vu précédemment que l'enlisement du câble qu'il s'agissait de saisir est invraisemblable.

Je vois au grappin Rouilliard l'avantage principal, signalé par M. de Nerville dans l'article cité : C'est que les palettes qui sont à l'arrière des dents font qu'il ne peut conserver une position d'équilibre dans laquelle la tige serait verticale. Dès qu'il touche le fond, ce grappin tend à se coucher horizontalement, l'une des dents s'enfonçant dans la vase, et à prendre de lui-même la position de dragage

Il y a quasi certitude qu'avec ces deux types de grappins, la chaîne ou le filin qui leur fait suite ne se prendra pas dans les branches, même lorsque le grappin atteindra le fond verticalement. Ces deux types de grappins ont un autre avantage, précisément à cause de leur tendance à se coucher horizontalement sur le fond, cet avantage est de pouvoir draguer, alors que la chaîne ou le filin qui les précède n'est pas tout à fait horizontal.

Les deux palettes du grappin Rouilliard rejettent, en effet, le centre de gravité du grappin vers l'arrière. En ce qui concerne le grappin centipède, même si la tête du grappin n'est pas traînée sur le fond horizontalement, les dernières dents de l'arrière peuvent draguer réellement, et, en fait, il arrive rarement que le centipède croche le câble avec la première dent de l'avant.

Il semble donc qu'avec ces deux types de grappins, on peut prendre le câble en filant moins de touée qu'avec les types ordinaires.

---

(1) Cf. Wünschendorff. — Traité de télégraphie sous-marine, p. 297. « La longueur de cordage que l'on dévire ne doit être ni trop courte, ni trop longue..... Dans les fonds de 1000 à 1500 brasses, une touée de 1/10, c'est-à-dire une longueur de cordage supérieure de 1/10 à la plus grande profondeur que le navire doit rencontrer sur sa route, donne en général une bonne ligne de drague. »

(2) Cf. Wünschendorff. — Traité de télégraphie sous-marine, p. 297. « Dès que le grappin touche le fond, ce « que l'on reconnaît aisément à la diminution brusque de la tension marquée par le dynamomètre, on a soin de « faire marcher le navire doucement en avant, de manière à étaler la drague et à empêcher la chaîne de s'entortiller « dans les branches du grappin. »



Il est remarquable, qu'après des échecs nombreux avec les autres types de grappins, on soit arrivé dans les campagnes de pose du dernier câble transatlantique français sur le *François Arago* et le *Silvertown,* à employer exclusivement ces deux types de grappins, le premier comme grappin relevant et coupant, le second comme grappin à roches après avoir muni les dents de contre-dents de garde.

L'invention de ces deux types de grappins, constitue un perfectionnement notable, mais, je crois qu'il était possible, sauf dans les fonds de roches, de draguer avec succès, avec les types ordinaires, sous la condition de suivre les règles données ci-dessus.

Revenons au dragage :

Lorsque le grappin touchera le fond il y aura, au dynamomètre, une chute de tension égale au poids de la chaîne et du grappin, qui ne sont plus suspendus.

Le navire se déplaçant, on continuera à filer la ligne de drague, on la filera avec une vitesse un peu supérieure à celle du navire. On fera donc une pose par l'avant d'une partie de la touée de la ligne de drague avec un certain mou. Et la tension indiquée au dynamomètre sera toujours inférieure au poids d'une longueur de filin de drague égale à la profondeur.

La longueur suffisante étant filée, on stoppera le filage, le navire continuant à marcher doucement.

La ligne de drague se tendra progressivement, le mou se ramassant; l'angle qu'elle fait à l'avant avec l'horizontale augmentera de plus en plus et, au bout de vingt minutes ou d'une demi-heure, la tension de dragage sera établie.

On peut la fixer à l'avance. Elle devra être : Le poids, augmenté de 900 kg, d'une longueur de filin égale à la profondeur.

Cette tension doit rester constante s'il n'y a pas de coups de tangage, si la profondeur, la nature du fond, la vitesse du navire ne varient pas.

Avec un dynamomètre sensible, on peut même d'après les tensions indiquées, tracer un profil du fond, une dénivellation de 100 m donnant à peu près une différence de tension de 100 kg, avec les filins ordinaires.

Une idée fausse a eu cours, c'est celle-ci :

« Quand, dans le cours d'un dragage, la tension ne subit pas de variation, on ne prend pas le câble. »

Le câble a été pris et souvent, pendant la campagne dont le tableau n° 5 donne les constantes de dragage, la tension restant absolument constante, jusqu'à ce que le grappin ait croché le câble, alors la tension montait progressivement et très doucement. Cela indiquait tout simplement que la vitesse du navire, pendant le dragage, était uniforme et que le fond n'avait pas de dénivellations, que le grappin labourait uniformément la vase.

Dans l'affirmation que je viens de reproduire, il y a une observation juste et une généralisation fausse.

Avec une touée insuffisante, on ne pouvait pas draguer d'une façon continue, les branches du grappin ne pouvaient crocher dans le fond que par intermittences, mais si elles y crochaient, il y avait des variations de tension : on avait des chances de prendre le câble.

Quand, au contraire, les branches du grappin ne crochaient jamais dans le fond, soit que la touée ne le permît pas à la vitesse du navire, soit que, ayant sondé avec la drague, la chaîne se soit prise dans une branche du grappin, le traînant à reculons, il n'y avait pas de variations de tension : l'échec était certain.

Les tableaux n°s 1, 2, 3 et 4 donnent les constantes de dragages de 4 campagnes différentes :

Données :
- Colonne 1. — Profondeur en mètres : y;
- Colonne 2. — Quantité filée en prenant la profondeur pour unité de longueur : $\cot \frac{\varphi}{2}$;
- Colonne 3. — Poids en tonnes d'une longueur de filin égale à la profondeur : py;
- Colonne 4. — Rapport de ce dernier poids py à la tension de dragage sur le fond t, calculée en supposant que la chainette ait pu se former telle que le grappin soit horizontal;

$$\frac{py}{t} = \mathrm{Chu} - 1 \cdot$$



Pour avoir la valeur de Chu, lire dans la colonne Chu des tables le nombre correspondant à la valeur de cot $\frac{\varphi}{2}$ de la colonne 2 :

Colonne 5. — Tension horizontale t dans le fond en faisant la même supposition que précédemment :

$$t = \frac{p\gamma}{\text{Chu} - 1}.$$

Tableau n° 1

Nos des dragues	1	2	3	4	5
1	2600	1,20	4,15	4,57	0,91
(2)	2600	1,18	4,15	5,1	0,81
(3)	2600	1,18	4,15	5,1	0,81
4	2600	1,18	4,15	5,1	0,81
5	2600	1,20	4,15	4,57	0,9
6	2600	1,19	4,15	4,8	0,865
(7)	2600	1,19	4,15	4,8	0,865
(8)	2600	1,20	4,15	4,57	0,91
9	2600	1,22	4,15	4,13	1,0
10	2700	1,19	4,3	4,8	0,9
(11)	2800	1,16	4,5	5,74	0,78
12	2800	1,16	4,5	5,74	0,78
(13)	2450	1,15	3,9	6,1	0,64
14	2350	1,18	3,8	5,1	0,75
15	2200	1,20	3,5	4,57	0,77
16	2050	1,21	3,3	4,33	0,77
17	2100	1,20	3,35	4,57	0,73
18	2100	1,19	3,35	4,8	0,7
19	2800	1,17	4,5	5,4	0,83
20	2850	1,16	4,55	5,74	0,79
21	2800	1,18	4,5	5,1	0,88
22	2800	1,18	4,5	5,1	0,88
23	2800	1,18	4,5	5,1	0,88
24	2800	1,18	4,5	5,1	0,88
25	2800	1,18	4,5	5,1	0,88
26	2800	1,18	4,5	5,1	0,88
27	2800	1,18	4,5	5,1	0,88

Tableau n° 4

Nos des dragues	1	2	3	4	5
(1)	4480	1,14	4,4	6,46	0,68
(2)	4480	1,18	4,4	6,46	0,73
(3)	4480	1,18	4,4	6,46	0,73
4	4250	1,245	4,2	3,5	1,2
5	4250	1,245	4,2	3,5	1,2

Tableau n° 2

Nos des dragues	1	2	3	4	5
(1)	2300 à 2400	1,18	1,5	5,1	0,295
(2)	2300	1,18	1,5	5,1	0,295
(3)	2300	1,13	1,5	7,0	0,215
(4)	2300	1,20	1,5	4,57	0,33
(5)	2300	1,20	1,5	4,57	0,33
(6)	2400	1,13	1,58	7,0	0,225
(7)	2300	1,19	1,5	7,0	0,215
(8)	2300	1,19	1,5	4,8	0,31
9	2300	1,27	1,5	3,3	0,455
(10)	2500	1,16	1,65	5,74	0,29
(11)	2500	1,16	1,65	5,74	0,29
(12)	2500	1,20	1,65	4,57	0,36
(13)	2750	1,16	1,81	5,74	0,315
14	2750	1,23	1,81	3,9	0,465
(15)	2700	1,20	1,78	4,57	0,390
(16)	2750	1,20	1,81	4,57	0,400
(17)	2750	1,20	1,81	4,57	0,400
(18)	2750	1,20	1,81	4,57	0,400
(19)	2750	1,20	1,81	4,57	0,400
20	2750	1,20	1,81	4,57	0,400
21	2750	1,20	1,81	4,57	0,400

Tableau n° 3

Nos des dragues	1	2	3	4	5
1	2700	1,22	2,52	4,13	0,6
(2)	2700	1,22	2,52	4,13	0,6
(3)	2700	1,22	2,52	4,13	0,6
(4)	2700	1,22	2,52	4,13	0,6
5 [1]	2700	1,22	2,52	4,13	0,6
6	2700	1,23	2,52	3,93	0,64
(7)	2700	1,23	2,52	3,93	0,64
8	2700	1,23	2,52	3,93	0,64
9	2700	1,23	2,52	3,93	0,64
10	2700	1,23	2,52	3,93	0,64
(11)	1400	1,35	1,26	2,4	0,525
(12)	1400	1,28	1,28	3,15	0,4
13	800	1,40	0,72	2,08	0,34
14	2400	1,19	2,16	4,8	0,45

[1] Dans ce dragage n° 5, on s'est servi de deux grappins attelés l'un derrière l'autre à l'aide d'une chaîne de quelques mètres, le grappin de 205 kg qui était en tête a manqué deux doubles de câble qui ont été pris par le grappin de 140 kg qui était à l'arrière; le grappin de l'avant ne draguait donc pas d'une façon continue.

On remarquera que la tension t portée dans la colonne 5 permet d'indiquer le degré de probabilité de succès de dragage, lorsque les autres conditions restent les mêmes, ce qui est le cas pour les dragages des tableaux 1, 2 et 3 faits par des fonds de nature semblable, avec le type ordinaire des grappins : plus la tension t, calculée d'après les données du dragage, sera inférieure à 0,9 kg moins on aura de chances de prendre le câble.

TABLEAU N° 5. — *Constantes de dragage de 1000 à 3000 m avec un filin pesant 0,9 kg par mètre dans l'eau de mer.*

Colonne 1. — Profondeur en mètres : y ;
Colonne 2. — Poids en tonnes d'une longueur de filin égale à la profondeur : py ;
Colonne 3. — $\text{Chu} = 1 + \frac{py}{0,9}$;
Colonne 4. — $\text{Cot}\ \frac{\varphi}{2}$;
Colonne 5. — Longueur en mètres de la ligne de drague : S ;
Colonne 6. — Différences premières des nombres de la colonne 5 ;
Colonne 7. — Tension de dragage : $t + py$.

1	2	3	4	5	6	7
1000	0,9	2,0	1,73	1730	120	1,8
1100	0,99	2,1	1,68	1850	110	1,89
1200	1,08	2,2	1,63	1960	110	1,98
1300	1,17	2,3	1,59	2070	100	2,07
1400	1,26	2,4	1,55	2170	110	2,16
1500	1,35	2,5	1,52	2280	110	2,25
1600	1,44	2,6	1,50	2390	110	2,34
1700	1,53	2,7	1,47	2500	110	2,43
1800	1,62	2,8	1,45	2610	110	2,52
1900	1,71	2,9	1,43	2720	110	2,61
2000	1,80	3,0	1,41	2830	100	2,70
2100	1,89	3,1	1,39	2930	110	2,79
2200	1,98	3,2	1,38	3040	110	2,88
2300	2,07	3,3	1,37	3150	100	2,97
2400	2,16	3,4	1,335	3250	100	3,06
2500	2,25	3,5	1,34	3350	110	3,15
2600	2,34	3,6	1,33	3460	110	3,24
2700	2,43	3,7	1,32	3570	100	3,33
2800	2,52	3,8	1,31	3670	100	3,42
2900	2,61	3,9	1,30	3770	100	3,51
3000	2,70	4,0	1,29	3870		3,60

IV. — Le dragage a été mis en route dans les conditions indiquées au paragraphe précédent, la tension de dragage s'est établie, la route de dragage a été fixée comme devant couper à peu près à angle droit la ligne du câble.

Il faut pouvoir déterminer à chaque instant et la position du navire, et la vitesse du navire par rapport au fond.

Une première bouée marque a été immergée et sa position déterminée avec soin par les procédés usités en mer.

En prenant avec le compas du navire le relèvement de la bouée marque, on a une première ligne sur laquelle se trouve le navire.

Une seconde donnée est nécessaire pour avoir la position exacte du navire : on peut apprécier la distance à laquelle le navire se trouve de la bouée, appréciation qui manque de précision, ou mieux on aura au préalable immergé une seconde bouée marque à quelques milles de la première et on aura déterminé avec précision la position de cette seconde bouée, en observant l'angle du compas sous lequel les deux bouées sont vues l'une par l'autre et en courant la ligne des deux



bouées et évaluant la distance au loch; on doit courir la distance dans les deux sens et prendre la moyenne des résultats obtenus, pour éliminer l'erreur provenant du courant. Et cette détermination donnera la composante du courant suivant la direction de la ligne des deux bouées.

D'ailleurs pour avoir la direction et la grandeur de la résultante des actions du vent et du courant, il n'y a qu'à laisser dériver le navire quelque temps et observer sa position initiale et sa position finale par rapport aux bouées marque.

Les positions des deux bouées marque ainsi que le tracé supposé du câble seront marqués sur une carte à grande échelle qui sera la carte de dragage.

En cours de dragage, les relèvements des deux bouées seront pris au compas, toutes les dix minutes par exemple, on pourra prendre en même temps au sextant l'angle sous lequel, du navire, on voit la ligne des deux bouées : la position du navire ainsi obtenue sera marquée sur la carte par l'indication de l'heure.

Sur la même feuille on reportera les lectures du dynamomètre.

On aura ainsi toutes les données du dragage : tension de dragage qui normalement doit être celle indiquée au paragraphe précédent; positions du navire toutes les dix minutes, d'où l'on déduit la vitesse du navire par rapport au fond.

On pourrait chercher à mesurer cette vitesse sans se servir d'une seconde bouée marque dont cette détermination est la principale raison d'être; on ne peut songer au loch; le nombre des tours de la machine motrice ne peut non plus donner d'indication précise à cause de l'influence, qui peut être prépondérante à la faible vitesse de dragage, du courant et du vent. MM. Siemens, de Londres, n'utilisent d'ordinaire qu'une seule bouée marque et mesurent la distance parcourue par le navire, en déroulant un fil de sonde avec une tension telle qu'il se pose sans mou, la lecture du compteur donne la distance courue et par suite la vitesse de dragage.

Pour obtenir la route et la vitesse que l'on désire, on procèdera par approximation, faisant varier et le nombre de tours de la machine motrice et l'angle de barre ou le cap.

La route de dragage ne doit pas trop s'écarter de la normale au tracé du câble, mais cette route peut être suivie dans deux directions opposées et il n'y a pas de règle générale à donner indiquant laquelle de ces deux directions convient le mieux; le choix en sera déterminé par les conditions particulières à chaque dragage. S'il y a une pente sensible, il vaut mieux, en général, draguer en remontant la pente qu'en la descendant. La connaissance de la grandeur et de la direction de la résultante des actions du courant et du vent, et de leurs variations probables, interviendra aussi.

On peut draguer contre cette résultante ou encore si cette résultante est dans une direction franchement différente de celle du tracé du câble et d'une grandeur suffisante, on peut se laisser dériver par elle, n'utilisant pas la machine motrice du navire ou ne l'utilisant que pour rectifier la route et la vitesse.

L'important est que la vitesse de dragage ne dépasse guère 1,5 nœud, limite qu'il sera d'ailleurs prudent d'abaisser par fond rocheux, et, qu'en tout cas, on doit pouvoir régler facilement, sans à coups; la souplesse de manœuvre du navire contribuera donc aussi à déterminer le choix de la direction à adopter.

V. — La caractéristique de la règle donnée ci-dessus est de déterminer toutes les constantes de dragage en partant de la tension qu'il est nécessaire d'exercer sur le grappin pour que les branches puissent crocher uniformément dans le fond, traction dont la direction doit être à peu près horizontale avec les types ordinaires de grappins, et dont, en tout cas, avec n'importe quel type, la détermination expérimentale est facile à obtenir.

Partant de cette donnée expérimentale, les constantes sont calculées en supposant qu'à la faible vitesse du navire pendant le dragage, il est légitime de négliger la résistance opposée par l'eau au déplacement du filin de drague et d'admettre qu'il prend la forme d'une chaînette.

Cette règle a reçu plusieurs vérifications expérimentales :

1° Elle explique les insuccès des campagnes n°s 1, 2 et 3, elle explique pourquoi le pourcentage d'insuccès augmente à mesure que le poids du filin devient plus léger et que, draguant d'après les



mêmes règles empiriques, la tension exercée sur le grappin devient d'autant plus faible, sa direction s'éloignant de plus en plus de l'horizontale.

2° Elle explique pourquoi les trois premiers dragages de la campagne n° 4 ont été infructueux alors que les deux derniers ont été bons.

3° Je vois aussi une vérification dans ce fait que de nombreux dragages ayant été infructueux pendant les opérations de pose du câble transatlantique français 1898, on a été conduit à abandonner les anciens types ordinaires de grappins et amené naturellement à se servir exclusivement de deux types de grappins dont la particularité essentielle est de tendre à prendre d'eux-mêmes la position horizontale de dragage et avec lesquels on pourra prendre le câble en filant moins de longueur de ligne de drague qu'avec les types usuels.

4° Enfin, une vérification directe a été donnée par la campagne n° 5 (1) dans laquelle les dragages ont été faits d'après la règle du § III, en appliquant le tableau 5, et, sur 14 dragages, un seul a été infructueux (2).

H. Larose,
Ingénieur des Télégraphes,

L'ÉTINCELLE ÉLECTRIQUE

ROLE DE LA SELF-INDUCTION DANS UNE DÉCHARGE OSCILLANTE. ÉTUDE DES SPECTRES PRODUITS PAR L'ÉTINCELLE ÉLECTRIQUE

I. Étincelle électrique. — « Rien ne semble plus propre à mettre en évidence la grande importance des recherches sur la constitution des spectres que la comparaison entre les méthodes employées et les résultats obtenus dans l'étude des diverses propriétés de la matière. » (3) La plupart des propriétés des corps simples ou éléments ne sont encore déterminées, en effet, que

(1) Cette campagne n° 5 (28 juin, 14 juillet 1900) est, à ma connaissance, la première où l'on ait appliqué la règle de dragage que j'avais donnée dans *L'Éclairage Électrique* du 21 mai 1898, et dans les *Annales télégraphiques* de novembre-décembre 1898.

La situation était la suivante : une seule bouée marque immergée, dont la position fut reconnue ultérieurement comme entachée d'erreur, la position réelle se trouvant à quelques milles dans l'Ouest de la position supposée. De trois dragages effectués à peu près suivant la même ligne, les dragages D_1 et D_3 crochent un câble, le dragage D_2 est infructueux, D_1 et D_3 ont été faits en allant dans l'Est, D_2 en allant dans l'Ouest ; le courant portait à l'Ouest ; le fond était régulier, sans pente marquée.

J'énumère trois causes possibles de l'insuccès de D_2 :

1° A cause de l'erreur de position, il est très probable que le grappin dans D_2 n'a pas traversé le tracé du câble. On était, en effet, au commencement de l'immersion de D_2, très près du point où D_1 avait croché le câble et le courant qui drossait le navire avait une composante vers l'Ouest ;

2° A cause de la composante du courant dans la direction du dragage D_2, dans l'Ouest, il est possible que la vitesse du navire ait été trop grande pour draguer réellement. Cette vitesse ne se pouvait déterminer d'une façon précise puisque, n'ayant immergé qu'une seule bouée marque, on n'avait qu'un point de repère.

3° L'immersion de la ligne de drague n'a pas été dirigée d'après les principes exposés plus haut, il est possible que la chaîne se soit prise dans une branche du grappin, le traînant à reculons et au relèvement de la ligne de drague reprenant sa position normale.

Les deux faits suivants observés donnent de la probabilité à l'une ou l'autre des deux dernières hypothèses qui d'ailleurs ne sont pas incompatibles avec la première :

Pendant le cours du dragage, la ligne de drague venait trop de l'arrière pour draguer réellement.

En rentrant à bord, la chaîne n'avait pour ainsi dire pas conservé de vase, alors qu'elle en a été couverte dans tous les autres dragages faits dans la même région, par des fonds de nature semblable.

(2) Une longueur convenable de ligne de drague avait été filée, mais toutes les autres précautions dont j'ai parlé n'avaient pas été observées, à propos de ce dragage infructueux.

(3) Rydberg. Congrès international de physique. (Paris 1900.)



d'une manière grossièrement approchée; car les valeurs numériques des constantes se rapportent, comme des moyennes, à un nombre immense de molécules ou d'atomes, se trouvant dans des conditions variées, et mêlés avec des atomes d'autres espèces en proportions mal connues. C'est une statistique moléculaire.

Mais considérons les spectres des gaz. Ici les choses se passent tout autrement. Les molécules et les atomes agissent individuellement : chaque atome envoie ses raies propres, indépendamment de celles des autres. Pour employer l'heureuse métaphore de M. Rydberg, nous pouvons dire que les spectres sont les langues des atomes; chaque élément parle toujours sa propre langue caractéristique et invariable, la même sur la terre et sur les étoiles les plus lointaines.

C'est cette invariabilité qui nous permet d'atteindre une précision extraordinaire dans la détermination des longueurs d'onde des raies.

Mais il y a plus encore : pendant que chacune des autres qualités physiques ne nous donne en général qu'une seule valeur numérique isolée, les spectres nous en fournissent, par les différentes raies, un nombre presque illimité pour toutes les formes de vibrations de toutes les espèces diverses de la matière. C'est là la voie la plus sûre et la plus immédiate pour obtenir des données sur les propriétés individuelles des atomes, sur les relations des divers éléments et sur l'origine de la radiation.

Malheureusement, les phénomènes spectraux que nous pouvons observer sont très complexes; leur interprétation est par suite extrêmement difficile et, de plus, nos connaissances sont fort bornées en ce qui concerne l'action des principales sources artificielles (arc électrique, étincelle électrique) qui provoquent les mouvements ondulatoires rapides de l'éther.

Dans le cas de l'étincelle électrique, cette action devient particulièrement difficile à interpréter, car l'étincelle électrique est elle-même un phénomène très complexe. Mais voyons cela d'un peu plus près. Tout d'abord, qu'est-ce que l'étincelle électrique ? C'est le phénomène lumineux qui accompagne la décharge d'un condensateur entre deux électrodes métalliques à travers un gaz à la pression atmosphérique. Ce phénomène lumineux est caractérisé par son intensité (éclat) et par sa nature; ces qualités dépendent, en premier lieu, de la résistance et de la self-induction du circuit de décharge; ils dépendent également de la nature et de la forme des électrodes, de la distance explosive et de la nature du gaz dans lequel éclate l'étincelle.

Dans ce qui suit nous ne considérerons que les étincelles éclatant dans l'air à la pression atmosphérique.

Dans une étincelle produite par la décharge d'un condensateur d'assez grande capacité, on distingue deux parties : le *trait lumineux* et l'*auréole* qui entoure le premier. Cette dernière a, en général, une forme très irrégulière et nébuleuse (fig. 1) et son étendue ainsi que son éclat varient avec la nature du métal qui constitue les électrodes.

En ce qui concerne le caractère d'une étincelle, il dépend tout d'abord, avons-nous dit, de la résistance et de la self-induction du circuit de décharge.

En tenant compte de ces facteurs, on peut classer les étincelles, d'après leur aspect, comme il suit : 1° Etincelle ordinaire: 2° Etincelle intermittente : 3° Etincelle oscillante.

L'étincelle ordinaire est celle qui prend naissance par la décharge d'un condensateur dont la résistance et la self-induction du circuit de décharge sont très petites. Feddersen a démontré expérimentalement que la décharge d'un pareil condensateur est oscillante; la méthode employée était celle celle du miroir tournant. Ces expériences de Feddersen ont été répétées par beaucoup de physiciens, *mais on n'a jamais insisté sur le rôle que jouent, dans une décharge, le trait lumineux et l'auréole.* « C'est là une question d'une grande importance au point de vue spectroscopique... »[1]. Cette distinction a été faite pour la première fois par MM. Schuster et Hemsalech [2].

II. Expérience de MM. Schuster et Hemsalech. — La méthode employée n'est pas celle du miroir tournant « qui est très incommode » [3]; c'est une méthode photographique de translation. La

[1] G. Hemsalech. Thèse de doctorat de l'Université de Paris (1901).
[2] Schuster et Hemsalech. Phil. Trans., t. CLXXXIII, pp. 189-213 (1899).
[3] Thèse, *loc. cit.*

****

pellicule photographique étant fixée sur la partie plate d'un disque tournant avec une vitesse d'environ 120 tours par seconde. Après développement de la pellicule on constata que « l'image du trait lumineux était restée immobile pendant toute la durée de l'étincelle ; tandis que l'image de l'auréole était allongée considérablement, surtout vers le milieu de l'étincelle, ce qui montre que la durée d'éclat du trait lumineux est très courte, tandis que l'auréole reste encore visible pendant un temps relativement grand... » (1). Pour mettre en évidence les oscillations qui existent dans l'étincelle, MM. Schuster et Hemsalech projettent l'image de l'étincelle sur la fente d'un collimateur de manière à avoir une image fine et nette de cette fente sur la pellicule photographique qui se déplace.

Fig. 1.

Grâce à ce dispositif les oscillations de la décharge s'impriment admirablement bien sur la pellicule. La figure 2 est une reproduction d'une de ces intéressantes photographies (agrandie 5 fois) obtenue par MM. Schuster et Hemsalech avec une vitesse linéaire de 100 m : sec.

Mais laissons la parole à l'un des auteurs de cette importante découverte pour expliquer et commenter cette photographie : « ... *La ligne droite que l'on aperçoit sur cette gravure est produite par la décharge initiale ou le trait lumineux ; la série de lignes courbes indique les oscillations de la décharge et en comparant cette photographie...* à une des photographies directes de l'étincelle ordinaire sur la pellicule mobile (sans projeter l'image de l'étincelle sur la fente d'un collimateur) *il devient évident que ces oscillations ont lieu dans l'auréole. Leur courbure nous indique que leur vitesse de propagation entre les deux électrodes est de beaucoup inférieure à celle de la décharge initiale qui est représentée par une ligne droite* » (2).

MM. Schuster et Hemsalech ont ensuite intercalé un prisme sur le trajet du faisceau lumineux et ont projeté le spectre de l'étincelle ainsi formé sur la pellicule photographique mobile : « ...*Quand la pellicule était immobile* les raies dans ce spectre étaient droites et nettes ; mais lorsque la pellicule se *déplaçait avec une grande vitesse, on remarquait dans le spectre, après développement de la pellicule, des raies droites et des raies courbes. L'examen de ces raies montre que les raies restées droites sont celles dues à l'air, et que les raies devenues courbes sont dues au métal qui constitue les électrodes. Il résulte donc de ces expériences que : la décharge initiale donne le spectre du gaz, et que les oscillations qui apparaissent dans l'auréole donnent le spectre du métal* ».

Il résulte donc de ces très importantes expériences de MM. Schuster et Hemsalech qu'une étincelle électrique se produit de la manière suivante : la couche d'air qui se trouve entre les deux électrodes est d'abord percée par la décharge initiale, et l'air qui se trouve dans le voisinage immédiat parcouru par cette décharge est chauffé jusqu'à l'incandescence : c'est *le trait lumineux*.

Mais immédiatement après l'espace qui sépare les deux électrodes est comblé par la vapeur métallique entraînée par la décharge initiale : c'est *l'auréole*. Les oscillations qui suivent la décharge initiale traversent cette vapeur et la réchauffent. Or, comme nous venons de le voir, ce sont précisément les oscillations qui se produisent dans l'auréole qui donnent le spectre du métal constituant les électrodes : on prévoit donc déjà le rôle important que ces oscillations vont jouer

(1) *Loc. cit.*

(2) Hemsalech. Thèse, pp. 5 et 6.

dans la production du spectre caractéristique du métal. C'est à M. Hemsalech que revient l'heureuse inspiration d'étudier le rôle que jouent les oscillations rapides et lentes d'une étincelle électrique dans la production des raies spectrales. Ces recherches sont pour ainsi dire le corollaire d'une autre série de recherches basées sur une découverte faite également par MM. Schuster et Hemsalech : *l'augmentation de la self-induction du circuit de décharge d'un condensateur est accompagnée de transformations considérables dans le spectre de l'étincelle jaillissant entre des électrodes qui communiquent avec les armatures du condensateur.* Mais nous reviendrons sur les spectres d'étincelles dans la dernière partie de cet article.

Revenons pour le moment à notre étincelle ordinaire et augmentons progressivement la résistance du circuit de décharge du condensateur (à l'aide d'une résistance liquide ou d'un fil mouillé); on constate alors facilement que le nombre des oscillations diminue et qu'elles finissent, pour une résistance convenablement choisie, par disparaître complètement : la décharge devient alors continue (¹). Mais augmentons davantage la résistance : la décharge devient alors *intermittente*; on obtient une série d'étincelles extrêmement faibles qui se suivent à des intervalles de temps croissants : c'est *l'étincelle intermittente*. La quantité de vapeur métallique qui se trouve dans ces étincelles est très petite et elle semble s'accumuler au voisinage de l'une des deux électrodes (négative ?) seulement (²) et cela à cause de la résistance du circuit de décharge qui absorbe presque toute l'énergie de la décharge.

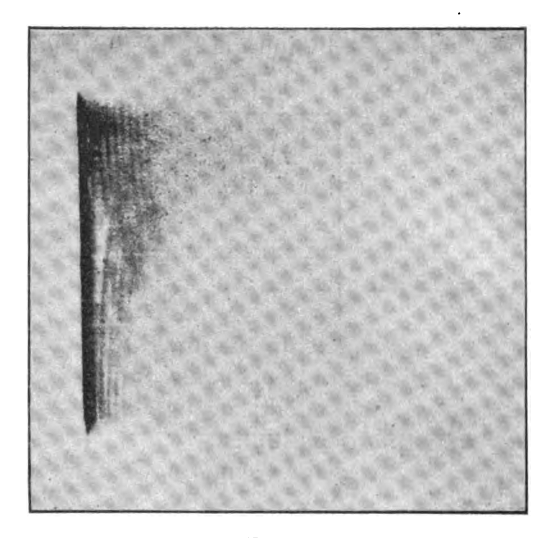


Fig. 2.

Remplaçons maintenant la résistance que nous avons insérée dans le circuit de décharge par une bobine de self-induction variable à volonté et *sans noyau de fer* : on constate immédiatement que la forme de l'auréole devient de plus en plus régulière (sphère ou ellipsoïde, selon la longueur de l'étincelle) et que le trait lumineux s'affaiblit très sensiblement, de manière que l'étincelle semble formée uniquement de la vapeur métallique incandescente, c'est *l'étincelle oscillante*.

En ce qui concerne l'éclat des étincelles obtenues de cette manière, il dépend tout d'abord de la nature métallique des électrodes; c'est ainsi qu'avec le fer comme électrode et avec une self-induction variant de 0,0006 henry à 0,056 henry environ, on obtient un minimum et un maximum très nets; avec le magnésium on obtient un minimum, un maximum et ensuite un second minimum. Le zinc, le cadmium, le cuivre, l'aluminium et le plomb se comportent de la même manière. En photographiant une pareille étincelle oscillante sur une pellicule mobile, on remarque (³) que *la décharge initiale est beaucoup affaiblie tandis que les oscillations qui la suivent sont très marquées et en même temps plus lentes et plus nombreuses que dans l'étincelle ordinaire* : la durée de l'étincelle est donc augmentée considérablement.

En augmentant davantage la self-induction, la décharge initiale disparaît presque complètement (⁴) : on remarque, en effet, que le spectre de l'air que l'on obtient toujours avec les étincelles ordinaires et qui est dû au trait lumineux, a complètement disparu, de sorte que le spectre de l'étincelle oscillante en question ne contient que les raies dues au métal constituant les électrodes et dont l'éclat est considérablement augmenté. C'est sur cette découverte que sont basées

(¹) Feddersen. *Pogg. Ann.*, t. CIII.
(²) Hemsalech. *loc. cit.*
(³) Hemsalech. Thèse, p. 10.
(⁴) Schuster et Hemsalech. *Proced. Royal Soc.*, t. LXIV, p. 335 (1899).

toutes les recherches qui font l'objet de la très intéressante thèse que M. G. Hemsalech vient de soutenir brillamment à la Faculté des Sciences de Paris [1] et que nous nous proposons d'analyser dans la suite de cet article.

II. Quelle différence y a-t-il alors entre la décharge sans self-induction, en dérivation, et avec self-induction? — Voici cette différence : *sans self-induction*, la décharge est brusque, de sorte que presque toute l'énergie est utilisée dans la décharge initiale ; *avec self-induction* la décharge est ralentie : il y a des courants induits dans la bobine, de sens opposés, qui empêchent une décharge rapide. Quant au mécanisme de cette décharge, il y a d'abord une faible décharge initiale, qui traverse, en la perçant, la couche d'air qui se trouve entre les deux électrodes, et il y a en outre production d'une petite quantité de vapeur métallique; cette vapeur métallique est ensuite traversée par la première oscillation qui la réchauffe et en produit encore davantage. La deuxième oscillation

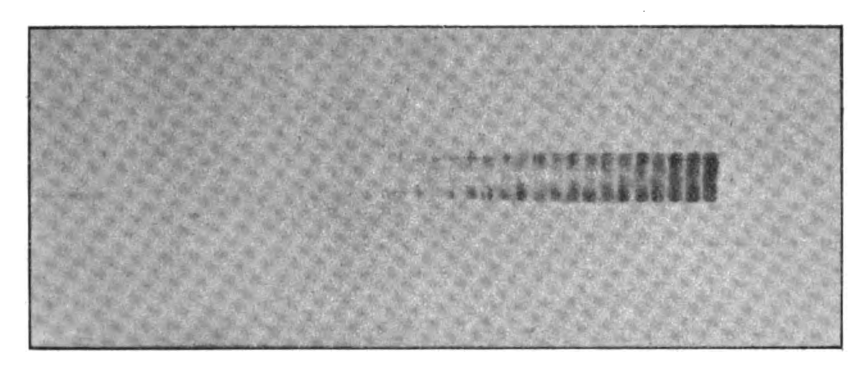


Fig. 3.

traverse, à son tour, la vapeur engendrée par la première en produisant encore de la vapeur métallique, et ainsi de suite pour chaque oscillation d'une même décharge. Presque toute l'énergie dans une décharge oscillante est donc utilisée pour chauffer la vapeur métallique ; c'est seulement la faible décharge initiale qui traverse la couche d'air, et elle n'est pas assez forte pour chauffer l'air jusqu'à l'incandescence ; elle est cependant suffisamment forte, comme nous venons de le dire, pour produire de la vapeur métallique qui est ensuite réchauffée par les oscillations qui suivent la décharge initiale, dont la quantité augmente à chaque oscillation. Ceci, nous le répétons, pour une étincelle oscillante avec une self-induction en dérivation mais *sans noyau métallique*.

Qu'arrive-t-il maintenant si l'on introduit dans la bobine de self-induction un noyau métallique? Lord Rayleigh [2] a le premier trouvé que le *nombre des oscillations* de la décharge est diminué; J.-J. Thomson a, de son côté, mis en évidence l'action de différents métaux sur les décharges oscillantes. Enfin M. Hemsalech [3] a précisé les conditions de ces expériences en se servant de la méthode photographique déjà employée par MM. Schuster et Hemsalech [4].

Résumons en deux mots les expériences de J.-J. Thomson. Il utilise la propriété bien connue des tubes à vide, sans électrodes, en présence d'une décharge électrique oscillante. Le principe de sa méthode est le suivant : On charge à l'aide d'une machine électrostatique deux bouteilles de Leyde et on emploie comme circuit de décharge un fil qui possède deux spires distinctes A et B. Si, au moment de la décharge, on introduit dans la spire A un tude à vide sans électrodes, on remarque que ce tube brille d'un vif éclat; cet éclat peut être augmenté par l'introduction d'un

(1) G.-A. Hemsalech. Recherches expérimentales sur les spectres d'étincelles. (Thèse de Doctorat de l'Université, Paris, 25 juin, 1901).

(2) O. Lodge. Modern. Views of Electricity, p. 423.

(3) *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 898 (1900). *Journal de Physique*, août (1900).

(4) Schuster et Hemsalech. *Phil. Trans.*, série A, t. CLXXXXIII, p. 190 (1899).

noyau de laiton dans la spire B; mais si, au lieu d'employer un noyau de laiton, on emploie un noyau de fer, l'éclat du tube diminue beaucoup et la décharge peut même être complètement arrêtée. Si ensuite on entoure le noyau de fer d'un *tube* en laiton, la décharge est rétablie immédiatement. Réciproquement, si le noyau de laiton est protégé par un tube de fer, la décharge est arrêtée complètement. Il résulte donc de ces expériences que ce sont les couches superficielles du métal qui interviennent directement et que les propriétés magnétiques du fer se font sentir même pour des oscillations de très courte période.

Passons maintenant aux expériences de M. G. Hemsalech. En ce qui concerne le fer, la méthode suivante a été employée par l'auteur (1). On insère en série dans le circuit de décharge d'un condensateur (en dérivation sur le secondaire d'une bobine de Ruhmkorff ou sur une machine électrostatique de Wimshurst) une bobine de self-induction, un tube de Geissler et un déflagrateur à étincelle. En excitant la bobine, ou en faisant marcher la machine électrique, on ne constate pas de polarités distinctes dans le tube : les variations rapides de polarité ne permettent pas de distinguer la direction de la décharge. Mais si l'on introduit progressivement un noyau de fer dans la bobine de self-induction, on constate, de la manière la plus nette, que les oscillations de la décharge diminuent d'abord de nombre et finalement sont complètement détruites : les deux pôles du tube de Geissler qui étaient précédemment identiques quant à leur aspect, commencent à se différencier et finissent par s'établir définitivement chacun dans une des extrémités du tube. En renversant le courant, la polarité du tube est également renversée.

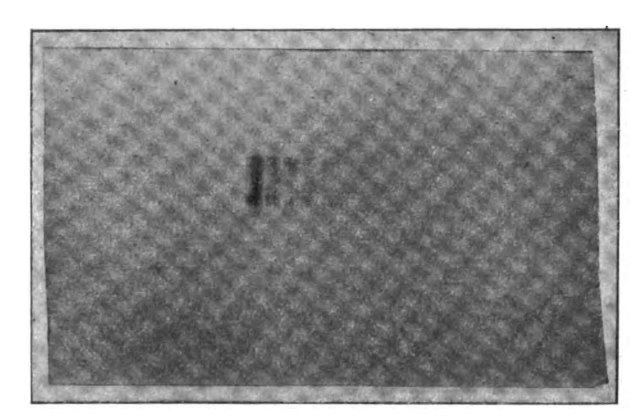


Fig. 4.

Pour préciser encore cette action du fer sur les oscillations de la décharge, l'auteur revient à la méthode photographique déjà employée en commun avec M. Schuster.

L'étincelle est photographiée sur une pellicule sensible fixée sur la périphérie d'une poulie qui peut tourner à raison de 2000 tours par minute (2). La conclusion à laquelle arrive l'auteur est la suivante : *la suppression des oscillations d'une décharge oscillante, dans les conditions énumérées ci-dessous, tient à deux causes : le magnétisme du fer et les courants de Foucault.* Dans le cas du fer, ces deux causes s'ajoutent l'une à l'autre, tandis que, dans le cas du cuivre, ce sont les courants de Foucault seuls qui interviennent directement. *Pour obtenir des étincelles bien oscillantes, on doit donc éviter toujours les bobines de self-induction à noyaux métalliques.*

L'auteur a en outre montré que l'augmentation du circuit de décharge d'un condensateur est accompagnée : 1° d'une augmentation d'éclat de l'auréole pour les métaux du groupe du fer; 2° d'une diminution d'éclat pour les autres métaux. Dans le premier cas, la température de l'auréole est augmentée, dans le second elle est abaissée.

IV. Voilà la partie électrique de la thèse de M. Hemsalech. La deuxième partie est plutôt d'ordre spectroscopique pur. Quoique d'un intérêt capital, nous nous bornerons à la résumer en quelques lignes seulement, et cela pour deux raisons : 1° faute de place; 2° pour être conforme au programme imposé aux publications qui doivent figurer dans *l'Éclairage Électrique*.

Disons donc deux mots sur les spectres produits par les étincelles électriques :

Etude des spectres produits par les étincelles électriques. — M. Hemsalech emploie exclusi-

(1) Schuster et Hemsalech. *Phil. Trans.*, t. CLXXXXIII, p. 190 (1899).

(2) Les figures 3 et 4 représentent : la première, les oscillations dans une étincelle, avec self-induction en dérivation, mais *sans noyau de fer;* la seconde, la même étincelle avec self-induction et *avec noyau de fer*, lequel, comme on le voit sur les figures, diminue considérablement le nombre des oscillations.

vement la méthode photographique (1) et il s'attache surtout à l'étude des spectres produits par l'étincelle oscillante. Il constate d'abord qu'au début toutes les raies d'un spectre s'affaiblissant avec l'augmentation de la self-induction. Parmi ces raies, il y en a quelques-unes qui s'affaiblissant rapidement, d'autres qui diminuent lentement et d'une manière continue; d'autres encore qui diminuent jusqu'à atteindre un minimum et augmentent ensuite en intensité, atteignent un maximum pour diminuer de nouveau.

En comparant les raies de ces spectres avec les raies observées avec l'étincelle ordinaire et dans l'arc, on s'aperçoit facilement que les raies qui disparaissent rapidement avec la self-induction sont les raies de l'air et les raies métalliques de *haute température* qui se manifestent comme des raies « courtes » dans l'étincelle ordinaire. Ces raies ne sont pas visibles dans l'arc. Les raies dont l'intensité diminue lentement et d'une manière continue sont longues et très brillantes dans l'étincelle ordinaire; elles sont également visibles dans l'arc.

Enfin les raies qui atteignent un maximum d'éclat avec l'augmentation de la self-induction sont moins brillantes dans l'éticelle ordinaire, mais très vives et très nettes dans l'arc.

M. Hemsalech propose alors la classification suivante des raies spectrales au point de vue de la self-induction.

Première classe. — Raies qui diminuent rapidement d'intensité avec l'augmentation de la self-induction; cé sont les raies de l'air et les raies métalliques de haute température, qu'on obtient seulement dans l'étincelle ordinaire comme raies « courtes ».

Exemples : Le doublet du zinc; le doublet du cadmium ; la raie $\lambda = 4\,481{,}4$ A (2) du magnésium ; les raies $\lambda = 4\,244{,}9$ A et $\lambda = 4{,}386{,}6$ A du plomb.

Deuxième classe. — Raies qui s'affaiblissent lentement et d'une manière continue avec l'augmentation de la self-induction. Ces raies sont visibles et brillantes dans l'étincelle ordinaire, mais elles sont en général renversées ou nébuleuses dans l'arc.

Exemples : les deux triplets du magnésium : [$\lambda = 5\,183{,}8$ A; $\lambda = 5\,172{,}9$ A; $\lambda = 5\,167{,}6$ A, et [$\lambda = 3\,838{,}4$ A; $\lambda = 3\,832{,}5$ A; 3 829 5 A].

Troisième classe. — Raies qui commencent par diminuer d'intensité, atteignent un minimum] puis augmentent considérablement en éclat, atteignent un maximum d'intensité pour diminuer de nouveau. Ces raies sont également visibles dans l'étincelle ordinaire et dans l'arc; dans l'arc surtout elles sont très brillantes et très nettes.

Exemple : la plupart des raies du fer et du cobalt.

M. Hemsalech fait en outre remarquer que les raies appartenant aux séries de MM. Kayser et Runge (excepté les raies du manganèse) appartiennent à la deuxième classe. Mais comme c'est dans l'ultra-violet que se trouvent la plupart des raies appartenant aux séries de MM. Kayser et Runge, cette étude demande à être poursuivie dans cette région spectrale en employant des prismes et des lentilles en quartz. La région spectrale explorée par M. Hemsalech s'étend de $\lambda = 5\,900$ A à $\lambda = 3\,500$ A. Nous espérons pouvoir donner prochainement les résultats que nous sommes en train d'obtenir dans l'ultra-violet en poursuivant cette étude.

Ajoutons enfin que ces recherches de MM. Schuster et Hemsalech et de M. Hemsalech ont eu un grand retentissement dans tout le monde spectroscopique et à l'heure actuelle les bobines de self-induction variable à volonté sont devenues dans les laboratoires de spectroscopie presque aussi indispensables que les prismes et les réseaux. Les recherches spectroscopiques semblent, en effet, reprendre leur vogue et s'introduire presque dans tous les laboratoires de physique.

Eugène Néculcéa,
(Laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne.)

(1) La dispersion employée par l'auteur était produite par différents prismes provenant de Schmidt et Haensch de Berlin, de Hilger de Londres, et de Steinhel de Münich. Le spectrographe a été construit par Mailhat de Paris, la chambre photographique par Bilclife de Londres.

(2) A signifie *Angström*, unité récemment proposée par M. H. Kayser pour mesurer les longueurs d'onde. Cette unité correspond au quatrième chiffre significatif des longueurs d'onde du spectre visible exprimées en microns



TRACTION ÉLECTRIQUE DES TRAMWAYS

SYSTÈME DE FELICE, TOSI, PARBONI A CONTACTS SUPERFICIELS

Ce système, dû à la collaboration de MM. Marco Tullio de Felice, Giorgio Tosi et Alfredo Parboni, rentre dans la catégorie des systèmes à prise de courant à niveau du sol avec contacts successifs superficiels. Il est caractérisé par l'emploi d'un commutateur spécial qui, non seulement a pour but d'éviter tous les inconvénients et les dangers que présentent les commutateurs inventés et en usage jusqu'à présent, mais possède encore l'avantage d'être d'une construction simple et solide, ce qui a pour effet de diminuer les dépenses d'installation ainsi que celles d'exploitation.

I. Principe du commutateur. — Voici le principe de ce commutateur :

Si l'on introduit d'un tiers de sa longueur un cylindre en fer 1 (fig. 1) [1] dans une bobine ou solénoïde 2 parcourue par le courant électrique, le cylindre s'aimante et se trouve influencé par un flux de force magnétique, qui le fait entrer dans la bobine. Comme la force d'attraction de la bobine sur le cylindre diminue à mesure que celui-ci s'enfonce et que cette diminution serait un inconvénient, on rend cette variation de la force moins sensible en fixant une rondelle en fer 4

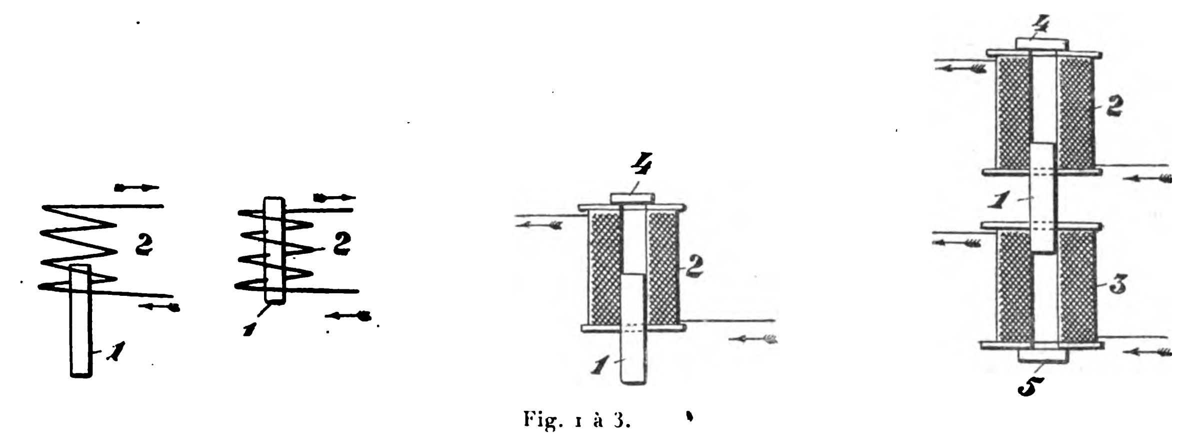


Fig. 1 à 3.

(fig. 2) sur le support en bois ou en ébonite de la bobine 2 : de cette manière on joint à l'action dynamique du courant magnétisant qui circule dans la bobine, celle qu'exerce le cylindre mobile 1, qui est devenu aimant, sur la rondelle en fer 4.

Supposons maintenant qu'on dispose le même cylindre en fer I de manière qu'une de ses extrémités pénètre d'un tiers dans une bobine 2 (fig. 3) et que l'autre extrémité pénètre d'un autre tiers dans une seconde bobine 3, munies toutes les deux aux extrémités libres de deux rondelles 4, 5. Il est évident que si le nombre d'ampèretours des bobines est le même le cylindre 1 restera dans la position d'équilibre indiquée dans la figure, tandis que si on augmente le nombre des ampèretours de l'une des bobines en y faisant circuler un courant plus intense, le cylindre 1 se déplacera vers cette bobine, d'une quantité proportionnelle à l'augmentation du nombre des ampèretours. Il est évident aussi qu'il en serait encore de même si, au lieu de faire varier le nombre d'ampèretours, on faisait varier la masse du cylindre en fer introduite dans une des deux bobines, le nombre des ampèretours dans les deux bobines restant le même.

Beaucoup de systèmes régulateurs de lampes à arc, dits régulateurs différentiels, étant basés

($\mu = 10^{-3}$ mm.) et elle vaut par conséquent $10^{-4}\mu$. On désigne encore quelquefois cette unité de mesure par μ' (surtout dans les ouvrages anglais) ; Michelson l'appelle *thent mètre*. On a en effet :

$$1 \text{ unité Angström} = A = \mu' = 10^{-4}\mu = 10^{-10}\ m.$$

[1] Les clichés des figures de cet article nous ont été obligeamment prêtés par M. Tullio de Felice.



sur ce principe, les commutateurs du système de traction que nous décrivons peuvent donc être appelés « commutateurs différentiels électromagnétiques ».

II. Description du commutateur. — Le commutateur différentiel est composé des parties suivantes :

1° Le système électromagnétique différentiel ; 2° l'appareil de commutation ; 3° l'enveloppe extérieure ou boîte, contenant l'appareil complet.

Le *système électromagnétique différentiel* est formé de deux circuits magnétiques de forme spéciale 6-6, 7-7 (fig. 4) étudiés de manière à avoir une force d'attraction considérable, avec une distance d'attraction relativement grande, un entrefer limité, et un faible courant d'excitation.

Ces circuits, qui diffèrent entre eux seulement par leurs dimensions et par quelque détail, sont réunis par un anneau en métal diamagnétique 8-8 fixé à un tube en métal diamagnétique 9-9, à l'intérieur duquel peut se mouvoir un noyau de fer doux 10, terminé par deux troncs de cône 11-11. Ce cylindre sert à compléter tantôt l'un, tantôt l'autre des deux circuits magnétiques, selon les cas. Autour du tube 9, et précisément dans la partie qui se trouve dans le circuit magnétique 6, sont enroulées, dans des sens inverses, deux bobines en fil de cuivre l'une 13, formées par un très grand nombre de spires de fil d'un diamètre relativement petit, et ayant une résistance électrique d'environ 500 ohms ; l'autre 12, n'ayant que peu de spires de fil de grande section et par conséquent d'une résistance ohmique négligeable.

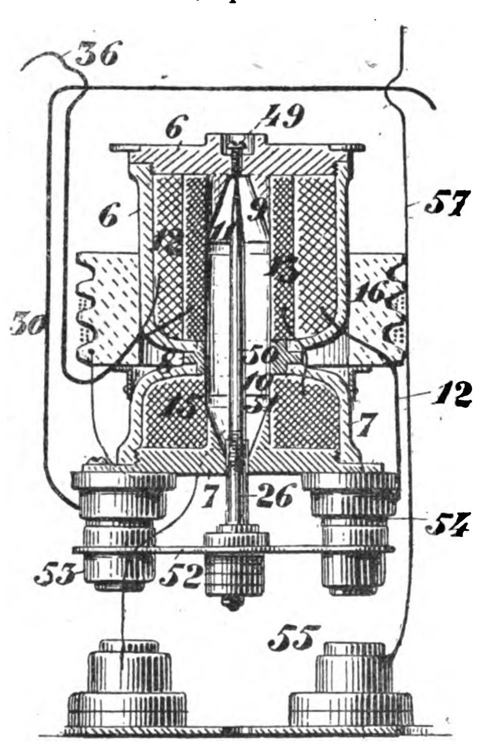


Fig. 4. — Commutateur différentiel.

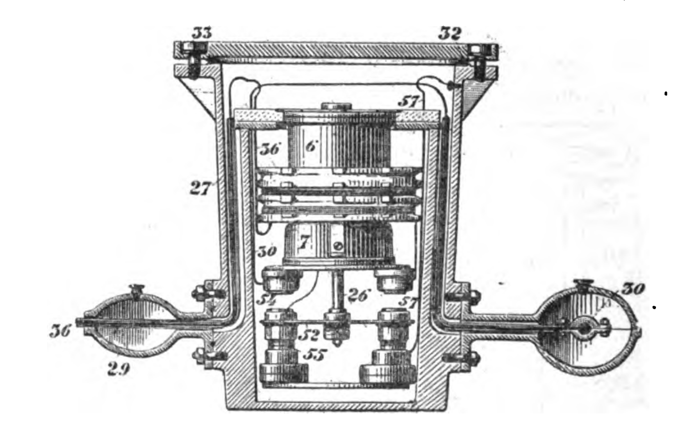


Fig. 5. — Boîte de commutateur.

Autour du même tube 9, dans la partie comprise dans le circuit magnétique 7, se trouve enroulée une bobine 15 de fil de cuivre ayant un nombre de spires inférieur à celui des bobines 12 et 13 ; cette bobine 15 est réunie en série avec une résistance bifilaire 16 (fig. 6) de manière que la résistance électrique totale des deux bobines 15 et 16 soit d'environ 2 000 ohms.

Dans ces conditions, lorsqu'un courant passe dans une des deux bobines 13 ou 12, le noyau en fer 10 est attiré vers le haut, et ferme le circuit magnétique 6-6 ; et lorsqu'un courant passe dans la bobine 15, le noyau est attiré vers le bas et ferme alors le circuit magnétique 7-7. Toutefois, pour que ce dernier déplacement se produise, il faut qu'aucun courant ne passe dans les bobines 13 ou 12, car autrement, le nombre des ampèretours de celles-ci étant beaucoup plus grand que celui de la bobine 15, la force d'attraction des premières l'emporterait et le noyau 10 resterait attiré vers le haut.

Passons à l'*appareil de commutation*.

Au noyau 10 est vissée intérieurement une tige de métal diamagnétique 26 (fig. 4 et 5), à laquelle est fixé un ressort 52-52, électriquement isolé de la tige 26 et portant à ses extrémités deux petits blocs de graphite 53-53, qui sont réunis électriquement entre eux et avec le ressort 52

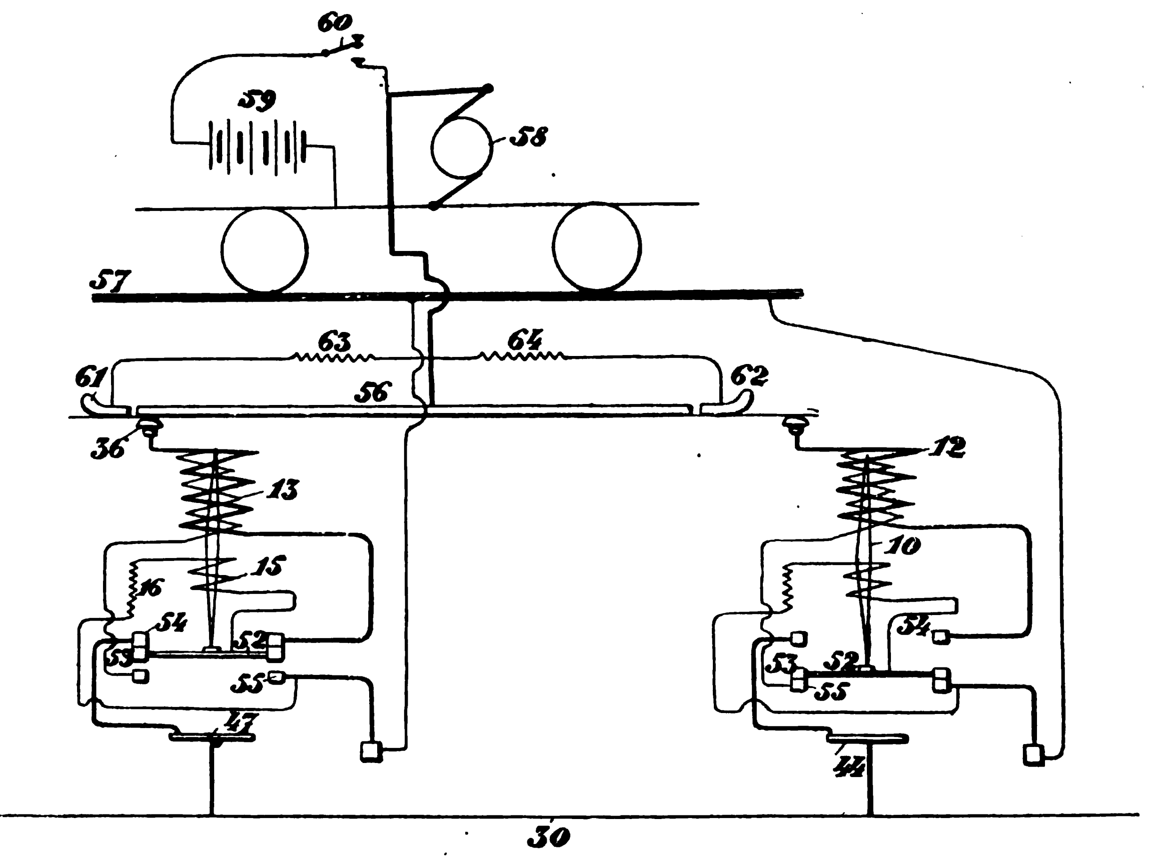


Fig. 6. — Schéma des connexions électriques de deux appareils placés sur la voie du tramway.

et forment ainsi un pont; ces charbons sont aussi en communication électrique avec une extrémité de la bobine 15. Au-dessous du circuit magnétique 7-7, sont fixés deux autres petits blocs de graphite 54-54, qui sont isolés électriquement entre eux et du support; un de ces blocs est en communication électrique par un fil de cuivre avec le câble 30 qui amène le courant (voir fig. 6

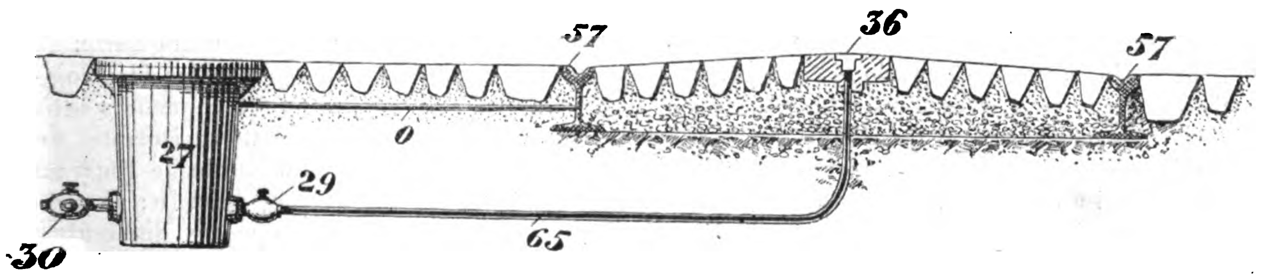


Fig. 7. — Section transversale de la voie du tramway.

et 7). Sur un étrier inférieur sont fixés, en correspondance des petits blocs de charbon 53-53 et 54-54, deux autres petits blocs de charbon ou graphite 55-55 ; ces blocs sont isolés électriquement entre eux et de leur support ; l'un est en communication avec une extrémité de la bobine 13,

l'autre avec la terre et avec une extrémité de la résistance 16 dont la seconde extrémité est réunie avec l'extrémité libre de la bobine 15.

Dans ces conditions, lorsque le noyau 10 est en bas, c'est-à-dire dans sa position ordinaire, les charbons 53-55 réunissent à la terre la bobine 13 par une extrémité, tandis que l'autre extrémité de la même bobine est réunie avec un plot métallique 36, placé au milieu de la voie suivant son axe. Lorsque au contraire le noyau est attiré en haut, la communication de la bobine 13 avec la terre est interrompue, tandis que les deux charbons 53-55 ferment le circuit de l'extrémité de la bobine 12 avec le câble 30 amenant le courant; l'autre extrémité de cette bobine 12 étant réunie au plot 36, ce plot se trouve alors en communication avec le câble 30; en même temps une dérivation du courant du câble passe par la bobine 15 et par la résistance 16, en allant aux rails.

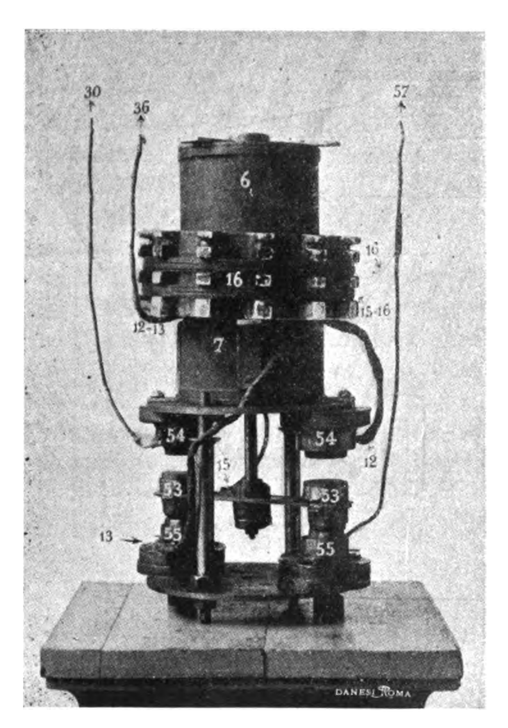


Fig. 8. — Vue d'ensemble du commutateur à l'état de repos.

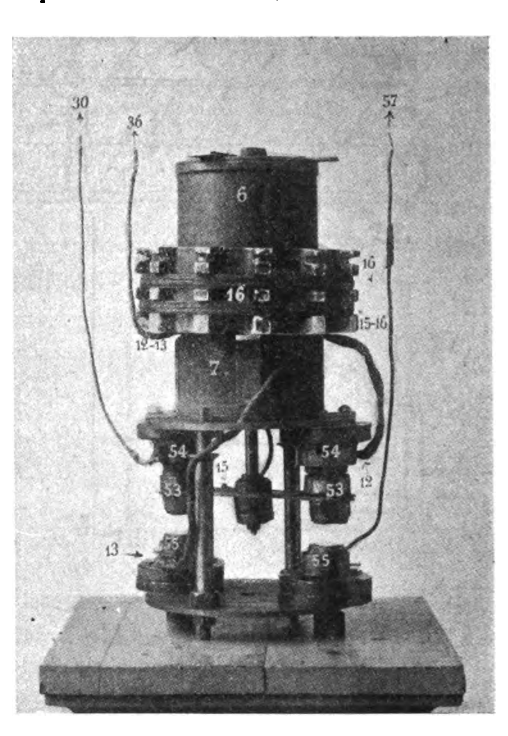


Fig. 9. — Vue d'ensemble du commutateur donnant le courant au plot.

L'*enveloppe extérieure* est formée par une boîte en fonte un peu conique 27 (fig. 5) fermée par un couvercle également en fonte 31 muni d'une garniture de matière élastique 32, qui sert à rendre hermétique la fermeture; ce couvercle est maintenu par des vis 33 à tête triangulaire. A la partie inférieure de l'enveloppe se trouvent deux ouvertures par lesquelles passent les fils aboutissant d'une part au câble d'alimentation 30, d'autre part au plot 36; sur ces ouvertures sont vissés des manchons 29 que l'on remplit de chatterton ou de toute autre matière isolante de manière à former une fermeture hermétique. L'enveloppe est remplie d'huile lourde de goudron de bois qui a pour effets : d'amortir les mouvements brusques du cylindre en fer doux 10; de préserver les pièces du commutateur de l'action de l'humidité extérieure; d'isoler les différentes parties entre elles; d'interrompre brusquement le courant en évitant ainsi la formation de petits arcs.

Les *autres organes* de l'appareil sont :

Une vis régulatrice 49 (fig. 4), qui sert à limiter en haut la course du noyau 10; trois rainures placées sur le noyau suivant trois de ses génératrices équidistantes entre elles, dont une est indiquée en 50 sur la figure 4 et qui servent à faciliter les mouvements du noyau; deux bandes en saillie 51-51 qui servent de guide.



Le plot 36 qui se trouve au milieu de la voie et suivant son axe est formé par un bouton en acier enchâssé dans un bloc d'un mélange d'asphalte-béton de composition spéciale, afin qu'il présente une haute résistance d'isolement et une grande résistance aux chocs mécaniques (fig. 7).

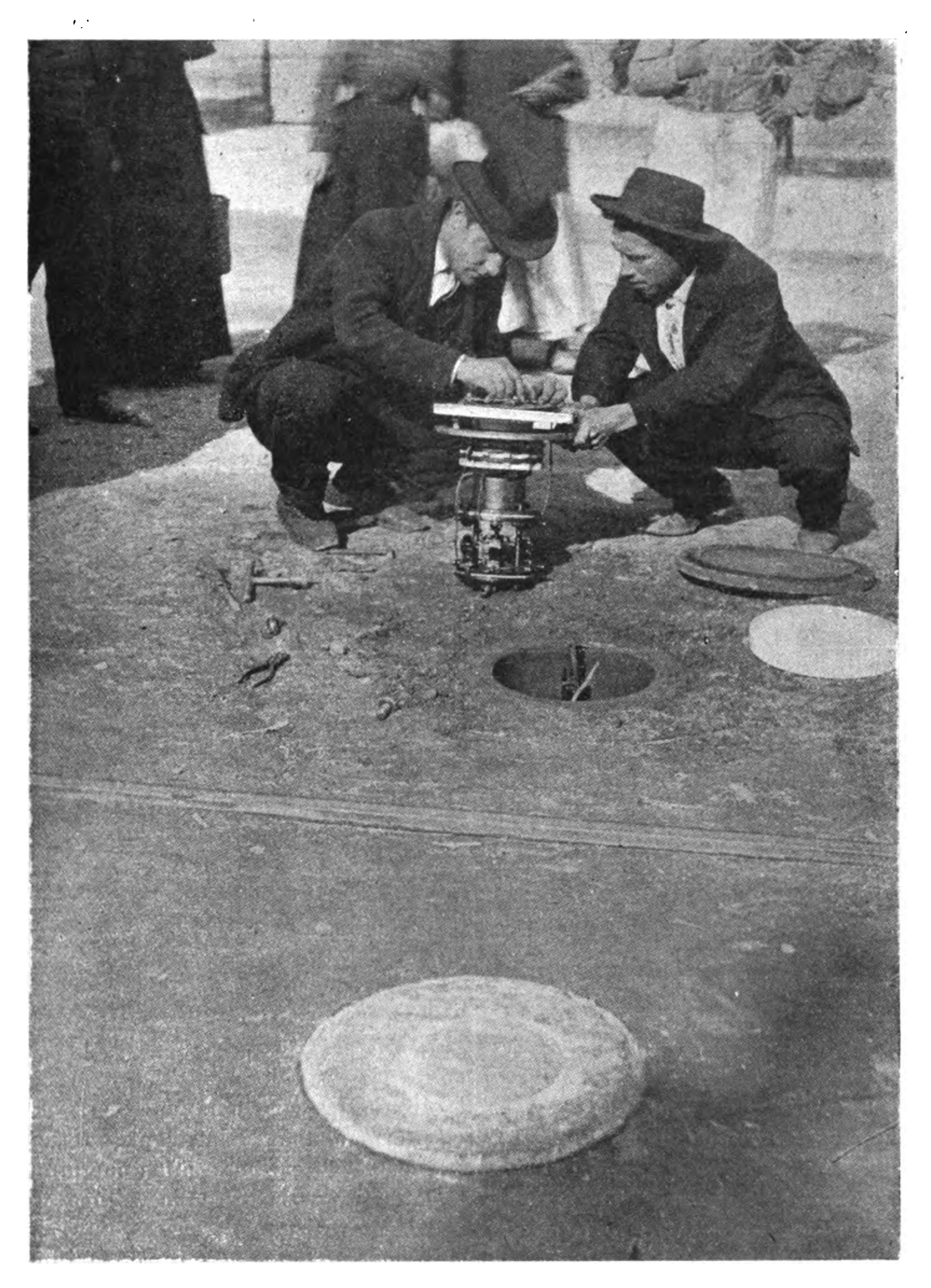


Fig. 10. — Vue d'un appareil enlevé de la boîte (essais faits à Rome).

III. Fonctionnement du commutateur. — Après avoir décrit le commutateur électromagnétique, nous allons examiner son fonctionnement.

La figure 6 représente schématiquement les connexions électriques de deux commutateurs électromagnétiques, placés à une distance un peu inférieure à la longueur du patin 56 situé sous

la voiture, de manière que le patin avant de quitter un bouton soit déjà en contact avec le bouton suivant.

Dans cette figure, le patin 56 est en contact avec le plot situé à gauche et par conséquent on voit le commutateur placé sous ledit plot dans la position soulevée; le courant parcourt alors les bobines 12 et 15, mais, comme la bobine 12 a, ainsi qu'il a été dit, un nombre d'ampèretours plus grand que celui de la bobine 15, le noyau en fer doux 10 est attiré en haut par la bobine 12 et par conséquent le pont 53, 52, 52, 53 en se soulevant, vient en contact avec les charbons 54-54 et

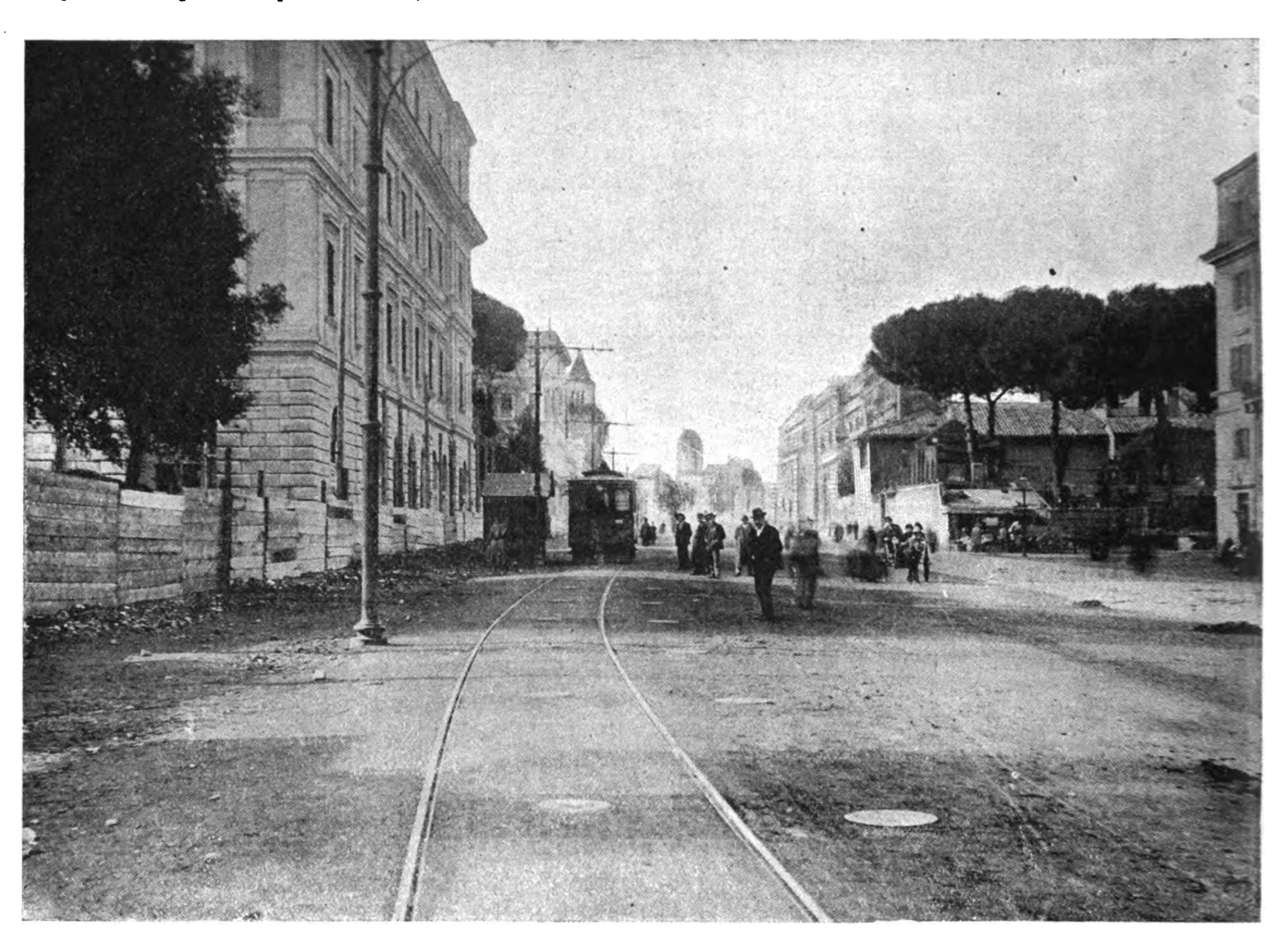


Fig. 11. — Voie servant aux essais du système à Rome.

ferme le circuit du câble 30: en même temps le circuit des charbons 55-55 est ouvert, et par conséquent la communication de la bobine 13 avec la terre ou rail constituant le retour du courant est interrompue. En définitive, le plot 36 est relié au câble 30 et toute autre communication avec le rail est rompue; par suite le courant va par le plot 36 au patin 56 de la voiture et de celui-ci, par le moteur 58 retourne à la génératrice au moyen des rails 57.

Aussitôt que le patin 56 quitte, par l'effet du mouvement de la voiture, le plot 36, le courant ne traverse plus la bobine 12, mais seulement la bobine 15; alors le noyau 10 tend à tomber non seulement par l'action de la gravité, mais encore par l'action magnétique de la bobine 15, qui dure jusqu'à ce que le pont-charbon 53, 52, 52, 53 cesse d'être en contact avec les charbons 54-54. Dès que le noyau 10 est tombé, le pont-charbon 53, 52, 52, 53 ouvre le circuit entre les charbons 54-54, c'est-à-dire, entre le câble 30 et l'extrémité de la bobine 12, et par conséquent il interrompt aussi la communication du solénoïde 15 avec le câble 30; en même temps il ferme le circuit

des charbons 55-55, c'est-à-dire de la bobine 13 avec le rail, de sorte que le plot 36 communique avec le rail, et le commutateur se trouve dans la position normale de repos, indiquée sur la même figure 5 pour le commutateur de droite, qui correspond au plot 36 non encore touché par le patin de la voiture.

Lorsque le patin vient toucher le plot de droite, comme il n'a pas encore quitté le plot précédent, une partie du courant qui alimente le moteur de la voiture, se dérivera par le plot 36 de droite, suivra le fil de la bobine correspondante 13, passera par les charbons 55, 53, 53, 55, et retournera directement au rail. Le noyau, 10 attiré par la bobine 13, fermera, en se soulevant, le commutateur respectif entre les charbons 54, 53, 53, 54 et la bobine 12 le maintiendra fermé; ce sera alors le plot 36 de droite sur lequel passe le patin qui alimentera le moteur de la voiture.

Ce que nous venons de dire se rapporte au cas où la voiture est déjà en mouvement. Pour effectuer les démarrages, on utilise une batterie d'accumulateurs 59 (fig. 6) de très petite capacité, située sur la voiture et dont le circuit, muni d'un interrupteur 60 est mis en dérivation sur le circuit du moteur. Au moment de démarrer, le conducteur ferme l'interrupteur 60; alors le courant des accumulateurs fait soulever le noyau 10 du commutateur correspondant au plot sur lequel se trouve la voiture et ce plot se trouve ainsi mis en communication avec le câble 30, qui fournira le courant à la voiture. Il est à remarquer que l'interrupteur 60 qui sert à fermer le circuit de la batterie 59, peut être supprimé, si l'on munit la voiture d'un contrôleur spécial construit de façon à fermer le circuit de la batterie lorsque la manette est amenée dans la première position, et c'est d'ailleurs ce procédé que nous employons. Il est également à noter que la batterie est constamment rechargée et que par conséquent il est inutile qu'elle ait une capacité élevée.

Ajoutons que le patin de la voiture porte à ses extrémités deux contacts 61-62 isolés électriquement du reste du patin et communiquant avec celui-ci par des résistances 63-64, de manière que le patin, en quittant un plot, n'interrompe pas brusquement le courant alimentant le moteur de la voiture.

IV. Avantages du système. — Les inventeurs revendiquent en faveur de leur système divers avantages parmi lesquels ils signalent plus particulièrement la faiblesse du courant nécessaire au fonctionnement du commutateur. Des expériences faites à Rome ont en effet montré que l'intensité du courant dans la bobine 13 est d'environ 0,75 ampère. Il en résulte une grande facilité de rupture de l'arc entre les charbons 55-55 et 53-53; en outre les effets d'auto-induction dus à la brusque rupture du courant dans la bobine 13 sont très faibles et ne peuvent compromettre l'isolation de cette bobine. Quant à l'intensité du courant dans la bobine 15, elle est encore plus faible (environ 0,275 ampère d'après les expériences faites à Rome), de sorte qu'un défaut d'isolation de cette bobine n'est pas plus à craindre que pour la bobine 13.

Un second avantage est que les arcs de rupture entre les charbons de contact sont toujours de très faible intensité. Cela résulte en partie de ce qui vient d'être dit et en partie de ce que, par suite du sectionnement du patin de la voiture, la rupture du courant d'alimentation n'a lieu qu'après que son intensité a été considérablement réduite par l'introduction d'une grande résistance dans le circuit. D'ailleurs les enveloppes des commutateurs étant remplies d'huile lourde de goudron, les ruptures s'effectuent dans un milieu diélectrique liquide qui s'oppose à la persistance des arcs.

Ce système a été expérimenté à Rome par la Société Romaine des Tramways. Les essais ont eu lieu sur un tronçon de voie équipé aussi avec fil aérien, comme on le voit par les figures 8 à 11; ils ont duré pendant six mois environ, et ont toujours donné d'excellents résultats, même par des temps extrêmement pluvieux et humides; on a constaté que, dans ces dernières conditions, la résistance d'isolement entre un plot électrisé et le rail était d'environ 22 000 ohms.

J. Reyval.



REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TRACTION

La traction mécanique des chariots à bagages, par **Sabouret**, *Revue générale des chemins de fer*, novembre 1900, p. 782.

A l'exception des transports de lait et de marée qui se font sur des quais spéciaux, tous les colis de messageries de la gare d'Austerlitz sont embarqués ou débarqués sur une voie bordée par un quai de 300 m de long, qui donne lui-même sur une cour d'arrivage de la gare. Le service de manutention des colis, qui se fait sur des chariots à 3 roues de 1,70 m de long, 0,85 m de large et 0,75 m de hauteur, est assez pénible et cause à certains moments un encombrement très grand du quai, vu la quantité considérable de colis de messageries qui passe par la gare d'Austerlitz et qui atteint annuellement le chiffre de 16 millions. La Compagnie d'Orléans est arrivée à accélérer notablement cette manutention et à la rendre en même temps plus économique à l'aide d'une installation à commande électrique de tirage mécanique des chariots à bagages, étudiée par M. Sabouret, qui était à cette époque ingénieur principal de la voie et des travaux aux chemins de fer d'Orléans, et décrite par cet ingénieur dans la *Revue des Chemins de fer*.

Le problème était assez difficile à résoudre, car les chariots étant très nombreux, il ne fallait pas y adapter des organes coûteux ; il ne fallait en outre gêner en aucune façon la circulation du quai. On ne pouvait donc songer à faire la manutention des chariots en montant des moteurs sur ceux-ci, ou en les accrochant à une chaîne sans fin aérienne ou flottante ; on a été conduit de cette façon à faire mouvoir les chariots en les accrochant à un câble sans fin souterrain, animé d'un mouvement permanent. Mais l'usage d'un gripp analogue à celui des tramways funiculaires eût rendu la manœuvre d'accrochage ou de décrochage beaucoup trop compliquée. On a réalisé l'entraînement des chariots sans les accoupler d'une façon rigide avec la chaîne, à l'aide d'une tige de fer montée sur le chariot et qui se trouve simplement poussée dans le caniveau par une quelconque des noix saillantes dont la chaîne est munie.

La chaîne sans fin court sous la fente d'un double caniveau de 180 m de longueur établi à quelques mètres en arrière de la bordure du quai des messageries. L'écartement des deux caniveaux est de 1,60 m d'axe en axe. Ces caniveaux (fig. 1) sont construits suivant une forme

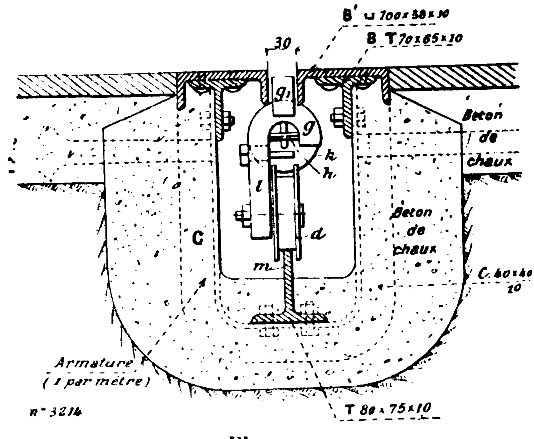


Fig. 1.

en béton de ciment A, de 200 mm de largeur et 300 mm de hauteur intérieure, soutenus tous les mètres par une armature en fonte C. La fente est formée par des fers profilés BB' noyés d'une façon continue dans le béton et laissant entre eux une ouverture de 30 mm. Les deux caniveaux se rejoignent aux deux extrémités dans deux fosses contenant l'une la poulie motrice et l'autre la poulie de renvoi, toutes deux ayant un diamètre égal à l'écartement des axes des deux caniveaux, c'est-à-dire à 1,60 m.

La fosse contenant la poulie motrice (fig. 2 et 3) mesure 3,45 m sur 2,10 m en plan, avec une profondeur de 0,75 m. La poulie d'entraînement M, à axe vertical porte une denture horizontale qui engrène avec un pignon d'angle N, dont l'axe horizontal est actionné par une dynamo P à l'aide d'un train d'engrenage réducteur Q. Le moteur électrique P est alimenté par la canalisation d'éclairage de la gare, à 125 volts ; il est excité en shunt, ce qui est une précaution inutile puisqu'il n'est pas sujet à s'emballer et qu'une vitesse rigoureusement constante n'était pas indispensable. Sa vitesse angulaire est de 350 tours par minute et celle de la poulie mo-

trice de 11 tours par minute, ce qui correspond à une vitesse linéaire de 1 m par seconde, ou 3,600 km à l'heure. Le courant absorbé est de 8 ampères à vide et de 15 ampères lorsque la chaîne entraîne le nombre maximum de 15 chariots, ce qui correspond à une puissance dépensée de 1,5 cheval à vide et de 3 chevaux en marche et à une dépense très faible au taux où

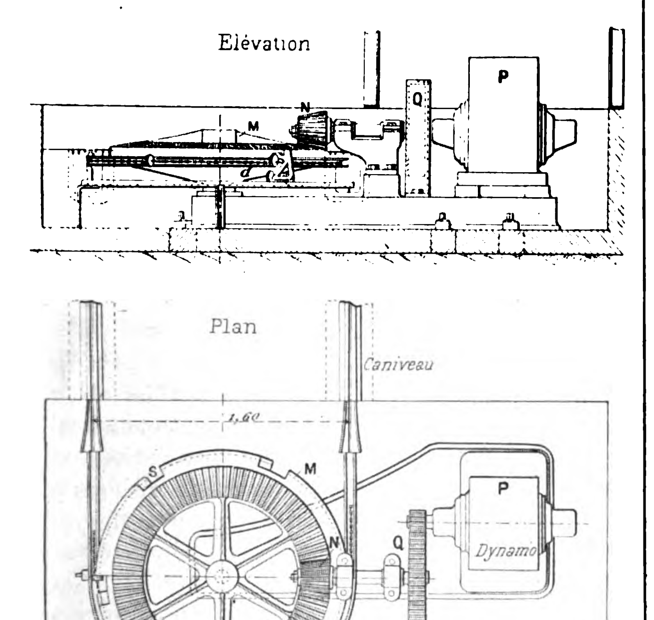


Fig. 2 et 3.

le courant revient à la Compagnie qui le produit elle-même dans son usine centrale de la gare d'Austerlitz. Le moteur est mis en marche pour toute la journée à l'aide d'un rhéostat ordinaire : en cas de résistance mécanique exagérée le circuit est coupé par un disjoncteur automatique réglé à 40 ampères.

Comme dans toutes les installations funiculaires la poulie de retour a son axe porté par un chariot mobile, tendu par un contrepoids de 1 000 kg. Avant sa mise en place la chaîne a été soumise à une traction prolongée de 2 000 kg., afin de rendre très faible les allongements ultérieurs. Dans le cas particulier, on ne peut admettre que des allongements insignifiants, à cause des noix fixes *r* montées sur la chaîne et qui doivent s'encastrer avec un jeu très faible dans les alvéoles *s* ménagés (fig. 3) sur le pourtour des deux poulies : par contre, les noix fixes rendent parfaite l'adhérence de la chaîne sur les poulies.

La chaîne est du type à maillons sans soudure, établie pour une tension normale de 2 000 kg. On l'a préférée à une chaîne Gall à cause de son prix plus faible et à un câble à cause de son allongement moindre et de sa plus grande résistance à l'usure. Les noix en forme de cylindres en acier de 6 cm de diamètre sont fixées horizontalement sur la chaîne à l'espacement de 0,83 m.

C'est le guidage de la chaîne à l'intérieur du caniveau qui a demandé le plus de recherches. D'abord on ne pouvait laisser traîner une chaîne aussi longue sans absorber une dépense d'énergie exagérée ; on ne pouvait pas non plus la soutenir de distance en distance par des galets porteurs d'axes fixes, comme dans les caniveaux de tramways funiculaires, à cause des noix saillantes ; d'ailleurs même avec des galets spéciaux à empreintes, ce procédé ne conviendrait pas, parce que sous l'influence de son poids la chaîne prendrait, dans l'intervalle des galets, à moins que le nombre de ceux-ci fut très grand, une flèche telle que la tige du chariot ne rencontrerait plus la noix. La difficulté a été tournée d'une manière très ingénieuse en soutenant la chaîne par un grand nombre de bicyclettes solidaires de cette chaîne. La figure 4 représente une de ces bicyclettes : elle se compose de deux petites roues à gorge d_1 d_2 de 0,10 m réunies par un cadre *l* en acier moulé d'une seule pièce, disposé latéralement et qui se termine en haut par une partie demi-circulaire *g* que la chaîne traverse librement et de façon à conserver sa liberté de vrillage et dans laquelle vient s'embecqueter la noix K. La bicyclette roule sur un fer à T formant rail M boulonné sur les cadres C (fig. 1) du caniveau et est guidée à sa partie supérieure par la fente du caniveau dans laquelle s'engage la partie supérieure du cadre de bicyclette. Les encoches des poulies d'entraînement sont suffisamment larges pour que le cadre des bicyclettes puisse s'y loger (voy. fig. 2). Les bicyclettes sont guidées par un canal spécial des fosses pendant un court espace à l'entrée et à la sortie des poulies ; lorsqu'elles sont logées dans les encoches, elles n'ont pas besoin d'être guidées. La chaîne porte des bicyclettes toutes les trois noix,

c'est-à-dire tous les 3,50 m et l'on aurait pu les espacer davantage.

L'équipement des chariots est des plus simples et n'a coûté que 18 fr pièce. On s'est contenté d'adapter sur la paroi avant à claire-voie (fig. 4)

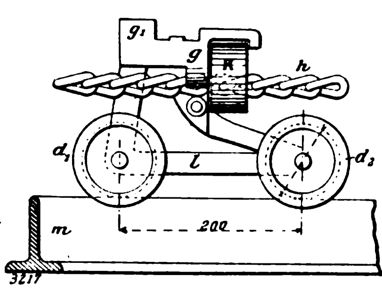


Fig. 4.

un tube *u* fixé par une bride ajustée *x* et maintenu en *b* par une bride laissant un certain jeu longitudinal.

Dans le tube *u* peut coulisser de 3 cm environ une tige en fer ronde *t*, de 25 mm de diamètre, suspendue par une bielle H (fig. 6) à un levier L, dont l'articulation T est fixée sur une planchette vissée sur le haut de la paroi devant du chariot. Dans la position du repos, le levier est maintenu vertical par un doigt *y* à ressort retenu contre la face interne de la traverse supérieure du chariot; dans cette position, la tige *u* est appliquée contre le chariot par deux ressorts *r* (fig. 5) fixés sous le plancher du chariot. Pour atteler le chariot, la manœuvre est excessivement simple : il suffit d'incliner le levier L sans se préoccuper de placer la tige au-dessus du caniveau, et de déplacer ensuite le chariot de droite et de gauche; la tige *t* traîne sur le sol et pénètre d'elle-même dans la fente lorsqu'elle se trouve au-dessus. Cette tige est bien vite rencontrée, soit par la face plane d'une noix, soit par la face avant g_1 du cadre d'une bicyclette (fig. 3) qui l'entraîne dans le caniveau ; le chariot est donc poussé par la partie interne de sa face avant. Au moment où la tige *u* est rencontrée, elle se déplace légèrement et vient buter contre le fond de la bride *b* (fig. 5), en tendant les ressorts *r* qui amortissent le choc. On dispose les chariots au-dessus de l'un ou l'autre des caniveaux suivant qu'on veut les déplacer sur le quai dans un sens ou dans l'autre. Pour les arrêter au point voulu, il suffit de remettre le levier L dans la position verticale, ce qui a pour effet de dégager la tige de fer *t* de la chaîne et de la faire sortir du caniveau. Les chariots portent sur leur paroi d'arrière une plaque de tôle qui forme butée, dans le cas où un chariot se trouve au repos dans le

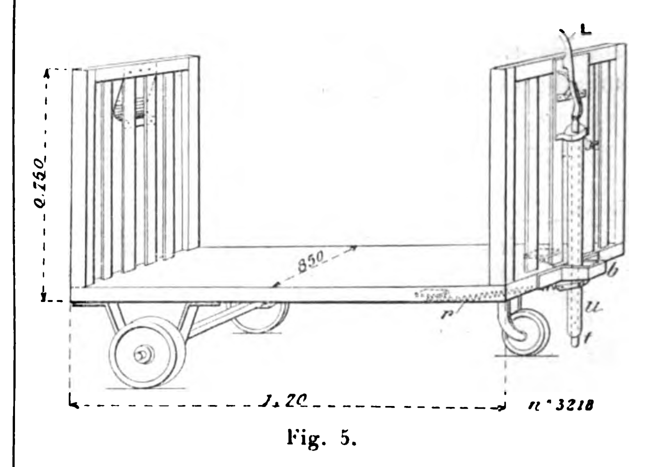


Fig. 5.

voisinage du caniveau, et désembraye les chariots en marche qui pourraient venir rencontrer le chariot au repos. A l'extrémité des caniveaux le quai se termine par un plan incliné qui surélève l'avant du chariot de 5 à 6 cm ; la tige *u*

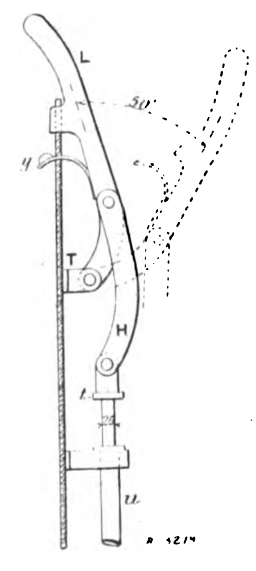


Fig. 6.

échappe ainsi à la noix ou au cadre de bicyclette et le chariot désembrayé s'arrête de lui-même ; là encore les ressorts de rappel *r* du tube porte-tige amortissent le choc.

Le caniveau serait rapidement obstrué par les détritus que l'on trouve sur tout quai à mar-

chandises, s'il n'était constamment nettoyé par trois petits balais entraînés par la chaîne. Les détritus tombent dans des puisards ouverts sous le caniveau, d'où on les retire à la main.

M. Sabouret n'a pas évalué la dépense de premier établissement de l'installation ; la description des appareils suffit à indiquer qu'elle n'est pas bien élevée, grâce surtout à l'emploi de l'électricité qui a permis d'actionner d'une façon très simple la transmission funiculaire.

Cette installation a plus d'importance que ne lui en attribue, par modestie, M. Sabouret, lorsqu'il déclare qu'elle ne présente qu'un intérêt pratique très restreint. La solution ne serait certainement pas très bonne pour la traction des chariots à bagages sur des quais à voyageurs, mais elle pourrait être appliquée dans une grande quantité de gares importantes dont les quais à messageries présentent presque toujours la même disposition qu'à Austerlitz. En outre, le bon fonctionnement de cette installation, qui comporte déjà 180 m de caniveau, fait prévoir que des installations funiculaires plus importantes, qui pourraient dans certains cas particuliers mieux convenir pour le tirage des véhicules de chemins de fer que les cabestans, auraient, moyennant des dispositions électriques appropriées, toutes chances de bien fonctionner également.

JACQUIN.

DIVERS

Influence d'une résistance sans induction sur la décharge oscillatoire d'un condensateur, par **T. Mizuno**. *Dr. Ann.*, t. IV, p. 811-815, avril 1901.

En mettant en dérivation sur le circuit de décharge d'un condensateur, une résistance sans induction, on augmente la résistance effective et par suite l'amortissement des oscillations ; l'augmentation est d'autant plus grande que la résistance est plus petite.

Si l'inégalité

$$EC^2S^2 + 2LRCS > L^2$$

où S représente la résistance mise en dérivation, n'est plus satisfaite, la décharge devient apériodique. L'introduction de cette résistance fournit donc un moyen simple de régler la période.

Ce dispositif permet en outre d'obtenir des décharges oscillantes dans un circuit sans induction propre. M. L.

Actions d'un courant variable, de sens constant, des oscillations électriques et des courants induits sur une aiguille aimantée ou une aiguille de fer doux placée dans un champ magnétique constant, par **M. Hornemann**. (*Dr. Ann.*, t. V, p. 481-512, mars 1901.

L'auteur a effectué des expériences variées sur ce sujet : les résultats s'expliquent aisément par ce qu'on connaît : il suffit de combiner les équations des courants variables avec les équations du mouvement d'un équipage magnétique pour retrouver les faits observés. M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 22 juillet 1901

Sur la cohésion diélectrique des gaz. Influence de la paroi, par **E. Bouty**, *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 213.

On sait, par les recherches antérieures de l'auteur, qu'une masse gazeuse, placée dans un champ uniforme, livre passage à de l'électricité dès que le champ électrostatique dépasse une certaine limite au-dessous de laquelle le gaz est un diélectrique parfait.

M. Bouty a continué ces recherches par l'étude expérimentale du rôle de la paroi diélectrique.

1° Si le ballon contenant le gaz était rigoureusement sphérique et d'épaisseur constante, enfin s'il était constitué par un diélectrique parfait, le champ intérieur au ballon serait uniforme, mais un peu inférieur au champ externe. Par exemple, avec un rayon de 0,03 m une

constante diélectrique égale à 2,25 et une épaisseur de parois de 1, 2 ou 3 mm, le champ intérieur serait inférieur au champ externe d'environ 1, 5, 3 et 4, 5 p. 100. M. Bouty a pu manifester cette influence de l'épaisseur des parois à l'aide d'un ballon dont la surface interne avait été revêtue de la couche la plus mince possible de paraffine. Après une série de mesures du champ critique, il a coulé à l'intérieur de ce ballon et répandu de manière à peu près uniforme une quantité de paraffine suffisante pour que l'épaisseur primitive du verre fût plus que doublée. Les valeurs du champ externe nécessaires pour amener le phénomène critique ont augmenté en moyenne de 3 p. 100 (1).

2° D'ailleurs on ne constate aucune action *proprement spécifique* de la matière diélectrique en contact avec le gaz. Un ballon plat, à paroi primitivement nue, a été revêtu intérieurement d'une couche mince de paraffine ou de soufre. Il n'en est résulté aucune variation appréciable des champs critiques. M. Bouty a même pu recouvrir le fond plat du ballon d'une couche de grenaille de plomb très fine ou enfin d'une large goutte de mercure de 0,06 m de diamètre. L'introduction, au contact du gaz, de ces corps conducteurs d'épaisseur finie n'a produit d'autre effet que la variation prévue du champ intérieur et de la capacité du condensateur; elle n'a rien changé aux phénomènes critiques.

3° M. Bouty a déjà annoncé que le passage de l'électricité à travers la masse gazeuse est accompagné de luminescence du gaz. On aperçoit un *éclair de charge* et un *éclair de décharge*, tous deux très nets quand le champ employé est notablement supérieur au champ critique. On peut observer ces éclairs même au voisinage immédiat du champ critique, même dans la région du champ critique minimum, en faisant l'obscurité la plus complète possible dans la salle où l'on se trouve et en plaçant tout l'appareil dans une enceinte fermée présentant un seul orifice par lequel on regarde. Le champ critique ainsi déterminé par l'apparition de la première lueur perceptible coïncide d'une manière remarquable avec le champ critique déterminé par la mesure des capacités (1).

En résumé, l'étude des perturbations amenées par la paroi établit que le phénomène critique est en lui-même tout à fait indépendant de la matière isolante qui emprisonne le gaz. Celle-ci n'agit qu'indirectement, en modifiant d'une manière plus ou moins irrégulière le champ qui règne au sein de la masse gazeuse.

(1) Ajoutons que, les ballons en verre soufflé ne pouvant avoir une forme géométrique définie, surtout s'ils sont plats, le champ intérieur ne peut être considéré comme rigoureusement uniforme. Il doit en résulter, et l'on constate expérimentalement qu'il en résulte, de faibles décharges locales précédant et annonçant la décharge uniforme qui intéresse la masse entière du gaz. Cette *zone critique* peut embrasser, par exemple, une amplitude de 1 p. 100 de part et d'autre de la valeur moyenne du champ critique.

(1) Les éclairs sont toujours instantanés, mais l'éclair de charge au voisinage du champ critique subit parfois un retard par rapport à l'établissement du champ. M. Bouty pense qu'il ne faut attribuer ce retard qu'à l'imperfection des propriétés diélectriques de la paroi dont la constante diélectrique est fonction du temps.

Souvent, au voisinage immédiat du champ critique, l'éclair de décharge est visiblement plus pâle que l'éclair de charge, ou même fait défaut. L'électricité qui a traversé le gaz à l'instant de la charge du condensateur est alors demeurée, en partie ou en totalité, sur la paroi. Si l'on soumet le gaz à des champs extérieurs croissants de même signe que le précédent, on ne verra plus d'éclairs jusqu'à ce que le champ ait augmenté de 10 ou 20 p. 100, par exemple. Au contraire, un champ de sens contraire de 10 à 20 p. 100 moins intense pourra se montrer efficace.

Tout ceci est confirmé par la mesure des capacités. On peut même fonder une méthode de détermination du champ critique sur l'observation des charges adhérentes à la paroi. A cet effet, le condensateur est chargé, puis fermé sur lui-même en présence du ballon à gaz. On le ramène ensuite en arrière, et l'on constate s'il emporte ou non une décharge résiduelle. Il est curieux de signaler que ce phénomène de charges adhérentes à la paroi ne se produit *jamais* quand on fait usage de champs très supérieurs au champ critique.

Sur la nature des rayons X, par **Jules Semenov,** *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 217.

On sait que les rayons X, sortant du tube *focus*, ont plus d'intensité et sont plus pénétrants que les rayons émanant directement de la cathode d'un tube simple. En outre, la matière de l'anticathode joue un grand rôle dans la production de ces rayons.

En étudiant l'émission des différentes parties d'un tube bianodique à anticathode de platine, M. Semenov a pu constater les faits suivants :

1° L'anticathode émet les rayons par ses deux faces (antérieure et postérieure) et de la même façon, mais l'intensité des rayons antérieurs est supérieure à celle des rayons postérieurs.

2° L'anticathode n'émet de rayons que si elle porte une charge électrique. Reliée métalliquement au sol, elle n'engendre presque pas de rayons.

3° Les rayons provenant directement de la cathode ont une intensité de beaucoup inférieure à celle des rayons anticathodiques postérieurs et sont, sous ce rapport, comparables aux rayons émis par les parois du tube [1].

M. Semenov a passé ensuite à la production unipolaire des rayons X.

A cet effet, les trois électrodes du tube bianodique, préalablement reliées entre elles, étaient mises en communication avec un des pôles d'un tube *focus* actionné par la bobine.

Dans ces conditions, le tube bianodique, présentait les mêmes phénomènes lumineux que dans son fonctionnement naturel, quel que fût le pôle du tube *focus* avec lequel il se trouvait relié, mais leur éclat était très faible. L'électrode, qui dans les conditions ordinaires joue le rôle d'anticathode, émettait des rayons X d'une intensité très faible, mais possédant cependant les mêmes propriétés que les rayons X d'un tube bipolaire [2].

(1) Dans ces expériences, les deux pôles du tube bianodique se trouvaient reliés aux deux pôles de la bobine, l'anticathode étant en communication tantôt avec l'anode, tantôt avec le sol.

Dans une autre série d'expériences, l'un des pôles du tube bianodique était en communication avec le sol et l'autre avec le pôle du même nom d'un tube *focus* actionné par une bobine d'induction. L'anticathode du tube bianodique était tantôt en communication avec l'anode, tantôt restait libre. Les résultats furent absolument identiques aux précédents.

(2) L'auteur a aussi remplacé le tube bianodique par un tube barométrique de 0,85 m de long, rempli de mercure et plongeant verticalement dans un godet en verre rempli de mercure, et il établissait la communication du mercure avec un des pôles du tube *focus*, actionné par la bobine. Dans le vide barométrique, au-dessus du mercure, il se produisait une lueur bleuâtre à peine perceptible, et les parois de la chambre barométrique devenaient fluorescentes.

A l'extérieur de la chambre barométrique, dans son voisinage immédiat, l'écran au platinocyanure de baryum devenait fluorescent, et les pellicules sensibles enveloppées dans du papier noir étaient impressionnées. Il y a donc, dans ces conditions, production unipolaire de rayons analogues aux rayons X.

Dans toutes ces expériences, une condition était toujours et invariablement nécessaire pour la production des rayons X. C'est la présence d'un tube de Crookes dans le circuit du secondaire de la bobine d'induction. Ce tube jouait le rôle d'excitateur de Hertz, d'une très haute fréquence.

Les oscillations, produites dans un excitateur ordinaire, en raison de leur grandeur, ne sont transmissibles que par l'intermédiaire de la matière. Par contre, les vibrations de l'excitateur formé par un tube de Crookes, grâce à leur très haute fréquence, peuvent se propager par l'intermédiaire de l'*éther* sous forme de rayons.

Dans les expériences de production unipolaire des rayons X, les vibrations se montraient dans le secondaire de la bobine, par suite de la présence du tube *focus;* elles se communiquaient au tube bianodique, fonctionnant comme tube unipolaire à trois électrodes, et donnaient naissance aux rayons X. Des phénonèmes analogues se produisaient dans le tube barométrique.

L'auteur rappelle que dans une note précédente [1], il a décrit la décharge par les rayons X d'un électroscope à mercure, et émis alors l'hypothèse d'après laquelle la perte d'électricité des conducteurs frappés par les rayons X a lieu par rayonnement.

En effet, tout conducteur mis en présence d'un tube de Crookes, actionné par une bobine d'induction, joue le rôle d'un résonnateur devenu le foyer d'émission de rayons que M. Sagnac a appelés *rayons secondaires*. Le conducteur étant chargé, la charge augmente l'intensité du rayonnement. Telle est la cause par laquelle l'anticathode du tube bianodique, mise en communication avec l'anode ou laissée libre, émet beaucoup plus de rayons X que lorsqu'elle est en communication avec le sol.

« Les rayons X, conclut M. Semenov, représentent les directions de transmission, par l'intermédiaire de l'éther, des vibrations électriques. Ces vibrations se communiquent à tous les corps qu'elles rencontrent sur leur passage.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXXII, p. 1320. *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 460, 22 juin 1901.

Lorsque ces corps sont chargés d'électricité et qu'ils sont protégés contre la décharge par convection, ils perdent leur charge *par rayonnement* ».

Séance du 29 juillet 1901.

Sur la radio-activité des sels de radium, par **P. Curie** et **A. Debierne**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 276.

Les auteurs ont montré précédemment qu'on peut communiquer temporairement des propriétés radio-actives à un corps quelconque à l'aide des sels de radium, et qu'en particulier on peut les communiquer à l'eau distillée. Dans leur communication, ils font connaître les résultats de leurs nouvelles recherches sur l'eau activée et donnent une théorie de cette radio-activité (1).

(1) « L'eau peut être rendue radio-active par divers procédés.

» On peut, par exemple, comme nous l'avons déjà indiqué, séparer par distillation en vase complètement clos l'eau d'une dissolution de chlorure de radium faite depuis plusieurs jours; l'eau distillée ainsi obtenue est fortement radio-active.

» Un second procédé, encore plus simple, consiste à mettre dans une enceinte parfaitement close deux cristallisoirs renfermant, l'un une dissolution d'un sel de radium, l'autre de l'eau distillée; au bout d'un temps suffisant, l'eau distillée est devenue active, la communication de la radio-activité se faisant par l'intermédiaire des gaz de l'enceinte.

» Enfin, un troisième procédé consiste à enfermer une solution de sel de radium dans une capsule de celluloïd complètement fermée (cette capsule se fabrique facilement avec de la feuille de celluloïd; les bords de la feuille se soudent en les humectant d'acétone) et à plonger cette capsule dans l'eau à activer, placée elle-même dans un flacon fermé. Dans ces conditions le celluloïd joue le rôle d'une membrane semi-perméable parfaite, et aucune trace de sel ne traverse les parois, tandis que l'activité de la dissolution se communique très bien à l'eau extérieure. (L'activité induite ne peut pas être transmise par l'air au travers d'une paroi de celluloïd sec, mais elle se transmet facilement si l'on humecte la paroi avec une goutte d'eau).

» L'eau activée peut avoir une activité aussi forte et même, dans certaines conditions, plus forte que celle du corps qui a servi à la rendre radio-active. Conservée en tube scellé, elle perd la plus grande partie de son activité en quelques jours; laissée en vase ouvert, la perte d'activité est beaucoup plus rapide et est d'autant plus rapide que la surface de contact avec l'air ambiant est plus grande.

» Les dissolutions de sels de radium se comportent d'une façon analogue. Si on laisse une dissolution en vase ouvert, elle diminue considérablement d'activité, et l'on abaisse cette activité autant que l'on veut en augmentant la surface de contact de la dissolution avec l'air libre. (On peut facilement avoir ainsi une dissolution 500 fois moins active que la solution initiale). Mais, contrairement à ce qui se passe pour l'eau activée, la perte d'activité n'est pas définitive; si l'on met cette solution désactivée en tube scellé, elle reprend peu à peu, au bout d'une dizaine de jours, son activité primitive.

» Voici une théorie qui permet de coordonner assez bien ces phénomènes de radio-activité : on peut admettre que chaque atome de radium fonctionne comme une source continue et constante d'énergie radio-active sans qu'il soit nécessaire, d'ailleurs, de préciser d'où vient cette énergie. (Cette énergie peut avoir été emmagasinée antérieurement; elle peut être produite par une modification du radium lui-même; elle peut provenir de la transformation d'un rayonnement extérieur inconnu; elle peut enfin être empruntée à la chaleur du milieu ambiant, contrairement au principe de Carnot, voir l'article de Mme Curie dans la *Revue générale des Sciences*, janvier 1899). L'énergie radio-active accumulée dans un corps par le radium tend à se dissiper de deux façons différentes : 1° par rayonnement (rayons chargés et non chargés d'électricité); 2° par conduction, c'est-à-dire par transmission de proche en proche aux corps environnants par l'intermédiaire des gaz et des liquides (radio-activité induite).

» La perte d'énergie radio-active d'un corps, tant par rayonnement que par conduction, est d'autant plus grande que la quantité de cette énergie accumulée dans le corps est plus considérable. On comprend alors qu'un équilibre de régime s'établit nécessairement; l'énergie radio-active accumulée dans le corps allant en augmentant jusqu'à ce que la double perte dont nous venons de parler compense l'apport continu fait par le radium.

» On peut considérer cette manière de voir comme analogue à celle qui est en usage dans l'étude des phénomènes calorifiques. Si, dans l'intérieur d'un corps, il se fait, par une cause quelconque, un dégagement continu et constant de chaleur, la chaleur s'accumule dans le corps et la température s'élève jusqu'à ce que la perte de chaleur du corps par rayonnement et par conduction fasse équilibre à l'apport continu de chaleur.

» En poursuivant cette analogie, il y aurait lieu de considérer une tension de radio-activité analogue à la température, et caractérisée par l'intensité du rayonnement (que nous avons considéré jusqu'ici comme donnant la mesure de l'intensité de la radio-activité). On pourrait aussi définir une capacité de radio-activité analogue à la capacité calorifique.

» La théorie qui précède permet d'interpréter diverses expériences :

» En général, excepté dans des conditions spéciales, l'activité ne se communique pas de proche en proche à travers les corps solides. Lorsqu'on conserve une dissolution en tube scellé, la perte par rayonnement subsiste seule et l'activité radiante de la dissolutien prend une valeur très élevée. Si, au contraire, la dissolution se

Démonstration géographique de l'origine terrestre des aurores polaires, par **Henri Stassano**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 279.

« Dans les croisières que je fis, de 1885 à 1891, en mission du gouvernement royal d'Ita-

lie, dans l'Atlantique, j'assistai souvent, dit M. Stassano, à ces pluies vraiment diluviennes, accompagnées de formidables décharges électriques, qui se produisent régulièrement dans la zone des calmes équatoriaux, lors des très fortes chaleurs ; et j'eus aussi l'occasion d'assister souvent à ces brusques orages d'été, les *pamperos*, qui éclatent et se dissipent, sur la côte brûlée du Sahara, en quelques minutes.

» Considérant l'immense perte en électricité que ces précipitations entraînent dans les hautes couches de l'atmosphère, je me souviens de l'hypothèse de De la Rive, qui attribue à l'évaporation équatoriale l'origine de l'électricité des aurores polaires, et j'en envisageai, de suite, la démonstration, dans les termes suivants : si cette théorie est vraie, aux époques des chaleurs torrides les plus intenses, autrement dit, des hivernages équatoriaux, les aurores polaires doivent être moins fréquentes.

» Je trouvai, effectivement, dans le diagramme de la répartition mensuelle des aurores boréales, d'après Klein, qu'il existe une correspondance très frappante entre les minima de fréquence de ces météores et les époques des pluies équatoriales, la grande et la petite saison humide du golfe de Guinée, qui est la région des calmes où il pleut le plus et où les précipitations ont le caractère franchement zénithal et, respectivement, entre les deux maxima annuels d'aurores boréales et les deux saisons sèches de cette même région équatoriale. De plus, je trouvai qu'au maximum d'aurores boréales le plus élevé de l'année correspond exactement la période la plus sèche de la Guinée supérieure, les mois de septembre et d'octobre, pendant lesquels l'air y est le plus nettoyé de brumes et le moins défavorable à la santé des blancs.

» Dans le catalogue des aurores australes publié, dans ces derniers temps, par W. Boller [1], je viens de trouver bien d'autres faits, qui me permettent de reprendre aujourd'hui mon ancienne démonstration, en lui donnant une portée générale. »

Après avoir groupé ces faits, l'auteur conclut :

« Il ressort des faits précédents que la théorie de De la Rive s'accorde avec tout ce que l'on connaît sur les aurores polaires et en explique toutes les vicissitudes. Ce qui s'en dégage, pardessus tout, c'est la démonstration que ces météores lumineux sont d'origine terrestre, liés intimement aux autres phénomènes météorologiques de notre planète. L'expédition danoise dirigée par M. Paulsen [2] a pu d'ailleurs établir récemment qu'il existe un accord intime entre le spectre des aurores boréales et celui de la lumière qui entoure la cathode d'un tube contenant de l'oxygène et de l'azote. Il s'agit donc réellement d'un phénomène se passant dans l'atmosphère de la Terre. »

trouve dans un vase ouvert, la perte d'activité de proche en proche par conduction devient considérable, et lorsque l'état de régime est établi l'activité radiante de la solution est très faible.

» Remarquons encore que l'activité radiante d'un corps radio-actif solide laissé à l'air libre ne diminue pas sensiblement, parce que, la propagation de la radio-activité par conduction ne se faisant pas à travers les solides, c'est seulement une couche superficielle extrêmement mince qui produit la radio-activité induite. On constate, en effet, que la dissolution du même sel produit des phénomènes de radio-activité induite beaucoup plus intenses (20 fois plus forts environ). Avec un sel solide l'énergie radio-active s'accumule dans le sel et ne se dissipe guère que par rayonnement. Au contraire, lorsque le sel est en dissolution depuis plusieurs jours, l'énergie radio-active est répartie entre l'eau et le sel, et si on les sépare par distillation, l'eau entraîne une grande partie de l'activité et le sel solide est beaucoup moins actif (10 ou 15 fois, par exemple) qu'avant dissolution. (La diminution d'activité a été observée pour la première fois par M. Giesel *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 91 ; 1899). Ensuite le sel solide reprend peu à peu son activité primitive.

» La communication de l'activité du sel de radium à l'eau de dissolution se fait d'ailleurs assez lentement, et l'équilibre n'est obtenu qu'au bout d'une dizaine de jours ; si, par exemple, on évapore la dissolution aussitôt après l'avoir faite, le sel garde une portion beaucoup plus considérable de son activité. »

Sur l'action électrocapillaire des molécules non dissociées en ions, par **Gouy**. *Comptes rendus*, t. XXXIII, p. 286.

L'auteur a soumis à un examen plus détaillé les faits signalés précédemment, relatifs à l'activité électrocapillaire des corps organiques en solutions aqueuses [3] ; 160 corps ont été étudiés, dissous dans des solutions normales de Na^2SO^4. La disposition des expériences diffère peu de celle déjà employée pour les mélanges d'électrolytes [4]. Le

(1) *Beitrage zur Geophysik*. III Bd, I Heft ; Leipzig, 1896.

(2) *Rapports du Congrès international de Physique*, 1900, t. III. Paris, Gauthier-Villars.

(3) *Comptes rendus*, t. CXXXII, p. 822. *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 117, 20 avril 1901.

(4) *Comptes rendus*, 19 novembre 1900. *Écl. Élect.*, t. XXV, p. 357, 1er décembre 1901.

large mercure avec Hg^2SO^4 est invariablement dans la solution normale de Na^2SO^4 (L_1); on trace la courbe électrocapillaire 1 en mettant aussi L_1 dans l'auge de l'électromètre, et l'on trace ensuite la courbe 2 en remplaçant dans cette auge, L_1 par L_2 (solution normale de Na^2SO^4 avec le corps organique en plus). Les abscisses sont les différences de potentiel V du large mercure et de la colonne mercurielle; les ordonnées, les hauteurs h de cette colonne.

Les courbes des corps organiques sont très variées, et s'éloignent souvent de la forme pseudo-parabolique qui est ordinaire chez les électrolytes; toutefois $\frac{d^2h}{dV^2}$ conserve le même signe. Le sens de l'effet du corps organique est toujours une *dépression* ou diminution de h (¹). Cette dépression est surtout marquée vers le milieu de la courbe (²). Elle s'annule en approchant des extrémités (en sorte que les courbes 1 et 2 coïncident en ces régions), ou tout au moins elle tend visiblement à s'annuler, ou se réduit à une petite valeur (³). Au contraire, dans ces conditions, les électrolytes actifs donnent des dépressions croissantes du côté positif. C'est là, semble-t-il, le critérium qui distingue les effets des *molécules actives* de ceux des *anions actifs*.

Dans beaucoup de cas, le maximum de la courbe est reporté du côté positif, la dépression étant surtout importante du côté opposé; nous dirons alors que la courbe est *positive* (⁴). Le déplacement du maximum est souvent considérable, 0,2 ou 0,3 volt, quelquefois plus. Pour d'autres corps, la disposition est inverse et la courbe sera dite *négative* (⁵).

Certains corps donnent des courbes assez régulièrement arrondies, où $\frac{d^2h}{dV^2}$ ne varie guère plus qu'avec L_1 (¹), mais le plus souvent les courbes présentent une partie *quasi rectiligne*, où $\frac{d^2h}{dV^2}$ a une petite valeur, la moitié ou le tiers de la moyenne, et quelquefois moins. Cette partie est plus ou moins inclinée; elle se raccorde avec les autres portions par deux *coudes* plus ou moins brusques, où $\frac{d^2h}{dV^2}$ passe par un maximum, souvent considérable. Le coude le plus élevé est le plus brusque; l'autre, quelquefois, n'est pas atteint dans les limites des expériences. Presque toujours la dépression au delà du coude s'annule sensiblement, et l'effet du corps organique peut être représenté schématiquement par une troncature oblique (²) qui supprime le haut de la courbe en laissant le reste inaltéré. Ces particularités, sont bien plus marquées avec d'autres corps, où le coude positif ressemble à un point anguleux, son étendue ne dépassant guère 0,01 volt (³). Quand la partie quasi rectiligne est un peu inclinée, et que le coude est brusque, il forme le maximum de la courbe.

Dans une même famille, ces caractères sont d'autant plus marqués que le poids moléculaire est plus élevé, et il en est de même de l'activité, en sorte que des corps à peine solubles donnent des dépressions considérables, au prix d'une viscosité électrocapillaire qui n'est pas sensible avec les dilutions moyennes.

(¹) Il faut noter que certaines solutions acides un peu concentrées produisent un relèvement à peine sensible vers l'extrémité négative, qui est dû sans doute à ce que la différence électrique $L_1 \mid L_2$ n'est plus alors tout à fait négligeable, et produit un petit glissement latéral de la courbe 2 par rapport à la courbe 1.

(²) Sauf pour les amines acides (alanine, glycocolle, etc.), qui donnent de faibles dépressions, du même ordre de grandeur partout.

(³) Cependant l'aniline et d'autres bases forment un cas douteux.

(⁴) Alcools monovalents, leurs aldéhydes et cétones, les glycols, les bases, quelques éthers et acides.

(⁵) Quelques dérivés chlorés, les phénols en général, quelques acides.

(¹) Alcools trivalents et au delà, sucres.

(²) Il arrive même que cette troncature est sensiblement horizontale (alcool heptylique normal).

(³) Alcool amylique tertiaire, acétate d'éthyle, butyrone, terpine, etc.

Etude des alliages d'aluminium et de molybdène, par **Léon Guillet.** *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 291.

Poursuivant des recherches déjà signalées ici (⁴) l'auteur a réussi à isoler cinq combinaisons correspondant aux formules Al^7Mo, Al^3Mo, Al^2Mo, $AlMo$, $AlMo^4$ et un composé très riche en molybdène qui semble correspondre à $AlMo^{20}$.

(⁴) *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 461, 22 juin 1901. — C'est par erreur que l'auteur a attribué la formule Al^4Mo à l'un des alliages étudiés, c'est Al^3Mo la véritable formule.

Le Gérant : C. NAUD.



L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LES FOURS ÉLECTRIQUES [1]

M. W. Borchers, dont les nombreux travaux d'électrochimie et d'électrométallurgie sont bien connus de nos lecteurs, a pris récemment plusieurs brevets intéressants, dont nous allons donner l'analyse.

Les fours représentés par les figures 1 à 6 ont pour objet d'économiser la chaleur perdue dans les réactions électrochimiques et d'en utiliser les gaz. A cet effet, dans les fours à incandescence (fig. 1, 2 et 3) ou à arc (fig. 4), la chambre de fusion S est entourée d'une enveloppe d'eau D, qui fonctionne comme une chaudière, et la figure 5 montre comment l'on peut accoupler plusieurs de ces enveloppes de manière à en former une véritable chaudière alimentée par une batterie de fours.

Les électrodes des fours à incandescence sont séparées par une résistance W, en charbon solide ou pulvérisé et foulé; les fours à arc sont à sole mobile H, déclenchée par le levier M, et pourvus d'un gueulard T, suffisamment chargé pour ne pas laisser échapper de gaz. A l'orifice de ce gueulard, et dans le four, se trouve un cône de toile métallique B, sur lequel on tasse du charbon de bois poreux en F, de manière à empêcher la poussière de sortir par R avec les gaz, qui se rendent, ainsi appropriés, au collecteur ou aux moteurs susceptibles de les utiliser.

La capacité du four et la masse de la matière doivent être assez grandes pour que le carbure, par exemple, résultant de la fusion reste recouvert d'une couche de matière non convertie en carbure assez épaisse pour rester, au contact des parois rafraîchies par l'enveloppe,

[1] *L'Éclairage Électrique* du 7 janvier 1899, p. 15.

**

assez froide et non conductrice pour assurer l'isolement des électrodes et de la matière en fusion.

La vaporisation commence environ deux heures après la mise en train et, à la fin de l'opération, on laisse le carbure se refroidir, et céder sa chaleur à la chaudière. D'après M. Borchers, l'utilisation des gaz et des chaleurs perdues permettrait de récupérer, en pratique, près du quart de l'énergie nécessaire à la production du carbure, et il faudrait y

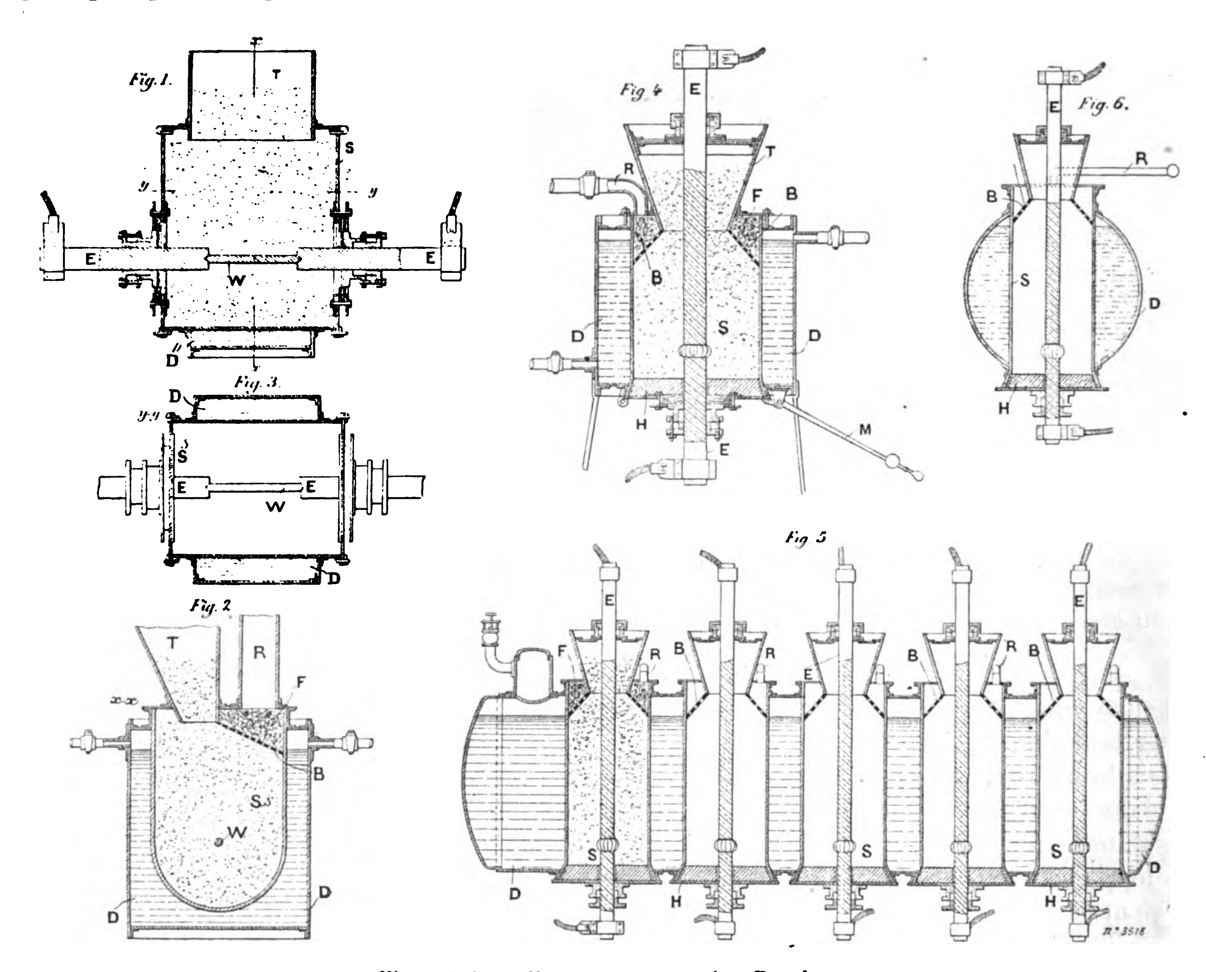


Fig. 1 à 6. — Fours à récupération Borchers.

ajouter l'économie provenant de la suppression des pertes de matières résultant de la suppression des poussières et de la combustion de la charge tombant avec le carbure, et qui, grâce au refroidissement de ce carbure, ne s'enflamme pas à l'air.

On retrouve l'application de ces mêmes principes dans les appareils représentés par les figures 7 à 9, où le carbure descend au travers d'un lit de charbon granulé S, sous l'action seule de son poids ou par l'entraînement d'un galet *w*, commandé par une poulie *p*; à mesure qu'elle s'avance, la barre de carbure est brisée par le couteau *m*.

Le four électrique de MM. Leleux et Gin, représenté par les figures 10 à 13 est du type à résistance. Il est caractérisé principalement par l'emploi d'une électrode verticale formée de plusieurs blocs *a* : quatre au cas figuré, en carbone très conducteur, entourés chacun par une masse *b* de charbon aggloméré avec du goudron, et recuit dans un mouffle à 550°.

On réalise ainsi une électrode à grande surface, se refroidissant facilement à l'air aspiré par la cheminée *c*, et protégée par *b* de la chaleur rayonnante du foyer. Le courant arrive des barres *mm*, par les câbles *n*, aux plaques *pp*, une par électrode, sur lesquelles elles sont appuyées par les coins *r*, à serrage *ts*, complété par celui des boulons *uu* (fig. 12 et 13).

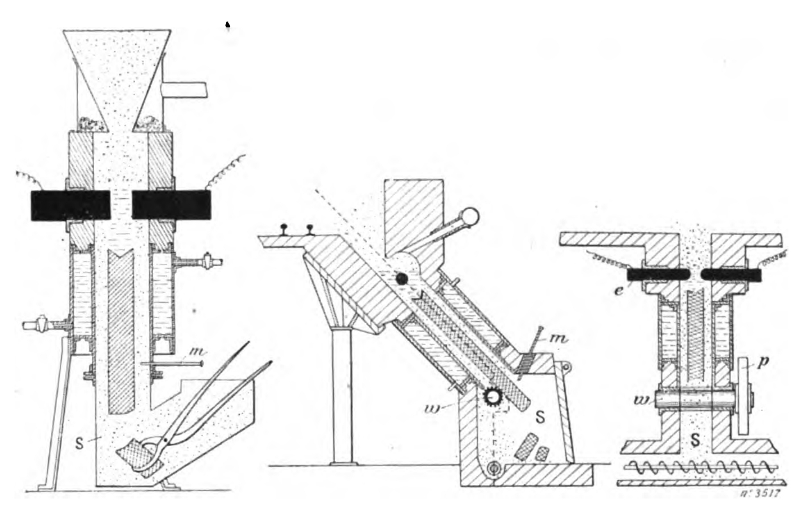


Fig. 7, 8 et 9. — Fours à récupération Borchers.

L'électrode inférieure est constituée par les blocs de carbone *ee* et *g* avec isolant *f*, disposé de manière à concentrer la chaleur au trou de coulée *d*. Les deux blocs *ee* sont reliés par des charbons de faible section *g*, au bord du trou de coulée dont ils augmentent encore la température.

Les gaz s'évacuent à la cheminée par les orifices diviseurs *k* qui en séparent en partie les poussières.

MM. Roesler et Carlson se sont proposés, par le four représenté par les figures 14 et 15, de réaliser dans de très grands foyers une répartition de la chaleur assez uniforme pour y éviter, malgré la grande intensité du courant, des températures locales trop élevées,

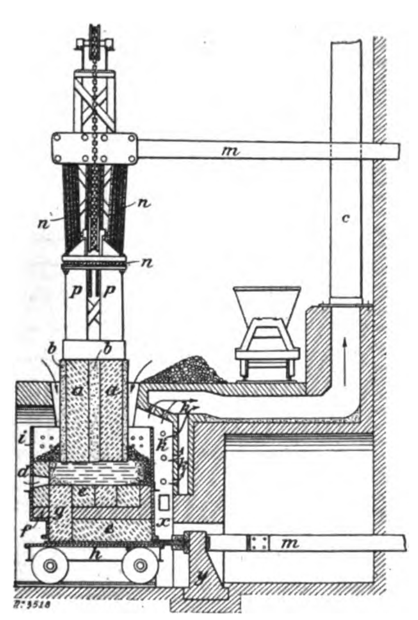


Fig. 10. — Four Leleux et Gin (1900) coupe longitudinale.

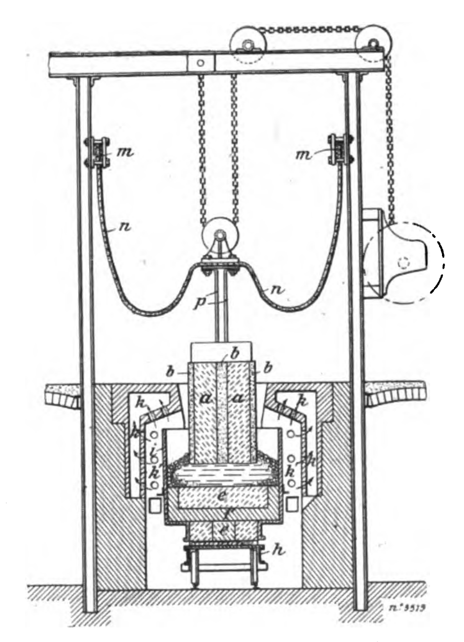


Fig. 11. — Four Leleux et Gin coupe transversale.

susceptibles de provoquer des dissocations partielles du produit, du carbure de calcium par exemple, et des pertes d'électricité. C'est ce qui se passe souvent avec les grandes électrodes où la chaleur de l'arc se concentre au milieu du bloc. A cet effet, les inventeurs

proposent, ce qui ne paraît pas absolument nouveau, de multiplier et de répartir les électrodes de manière à n'avoir nulle part ces températures excessives. En somme, tout repose sur un calcul d'électrodes problématique et difficilement brevetable.

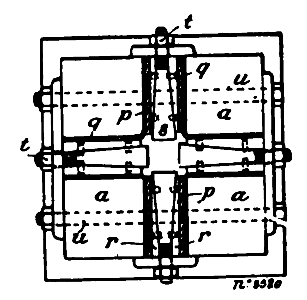


Fig. 12 et 13. — Four Leleux et Gin, détail des électrodes.

M. Contardo part, pour l'établissement de son appareil, de ce principe qu'il faut, pour bien utiliser la chaleur d'un arc, étendre autant que possible la surface du bain directement exposée au rayonnement de cet arc. Son four, du type à réverbère, est (fig. 16) chargé par la trémie *f* et les canaux *dd*, où la matière subit un réchauffage préalable au travers des parois *b* de plombagine et minces. Les gaz s'échappent suivant les flèches, en cédant une partie de leur chaleur; la matière fondue et réduite s'écoule par le trou de coulée *h*.

Les électrodes *e* (fig. 17) pénètrent dans le four par un stuffing-box T, qui les isole suffisamment pour les empêcher de rougir à l'extérieur du four, ce qui permet, puisqu'elles ne se déforment pas, de leur amener le courant par un collier E, dont la position réglable à volonté permet d'user l'électrode jusqu'au bout. Chacune des électrodes est formée d'une série de tronçons *e*, reliés les uns aux autres de façon à se succéder indéfiniment dans le four à mesure que l'opération s'avance.

Le four de la Société électro-chimique Volta de Genève, représenté par la figure 19, est disposé de manière que la région où se produit la température la plus élevée soit située en

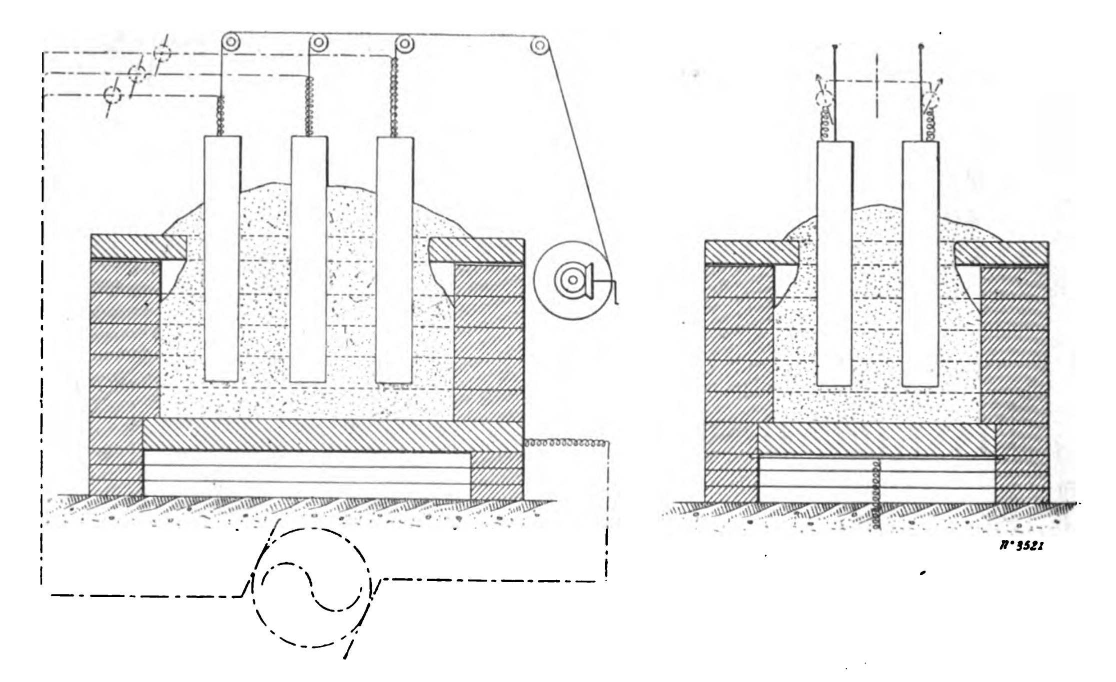


Fig. 14 et 15. — Four Roesler et Carlson (1900).

un point tel que la matière électrolysée qui s'y volatilise ne puisse s'échapper qu'au travers de la matière déjà fondue et non encore décomposée. On évite ainsi la perte de ces



vapeurs qui, dans leur course, se condensent en partie, agitent la matière et en facilitent les réactions.

A cet effet, la sole A du four porte des électrodes en charbon E, séparées par du poussier de charbon *e* et au-dessus desquelles se trouvent les électrodes réglables GGG.

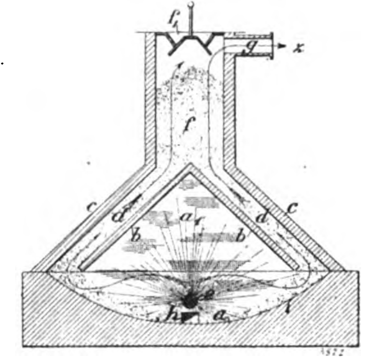


Fig. 16. — Four Contardo.

Quand on abaisse les électrodes G sur E, les électrodes E deviennent incandescentes, puis, quand on relève G, le bain se fond au contact de E, mais la résistance du poussier *e* empêche le courant de passer de A en G autrement que par E. En outre, les vapeurs produites tout au voisinage des arcs doivent traverser toute la masse du bain avant de s'échapper dans l'atmosphère, et en s'y condensant en partie. La matière fournie en C s'écoule d'une façon continue par D.

D'après les inventeurs, un four de ce type pourrait facilement s'établir pour une puissance de 150 000 ampères et 60 volts, ou de 9 000 kilowatts.

M. F. J. Machalske a récemment essayé, avec succès, paraît-il, dans son laboratoire de Long-Island, de fabriquer le phosphore par le four électrique, en partant des phosphates naturels employés comme engrais.

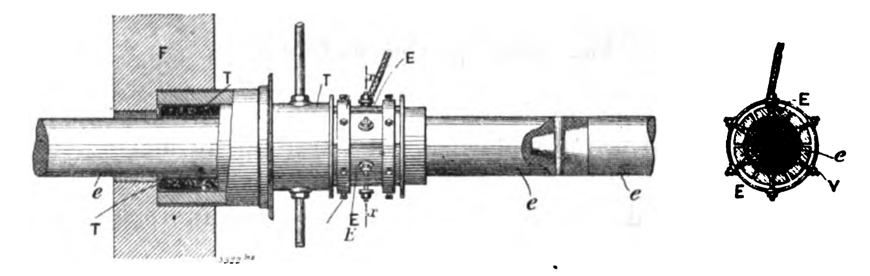


Fig. 17 et 18. — Four Contardo, détail d une électrode.

Il aurait, d'après l'*Electrical World* du 2 mars dernier, installé deux fours du type représenté par les figures 20 à 22. Chacun de ces fours a une sole de 300 × 460 mm en carbone, avec parois en magnésie calcinée et couvercle en terre réfractaire. Le phosphate est

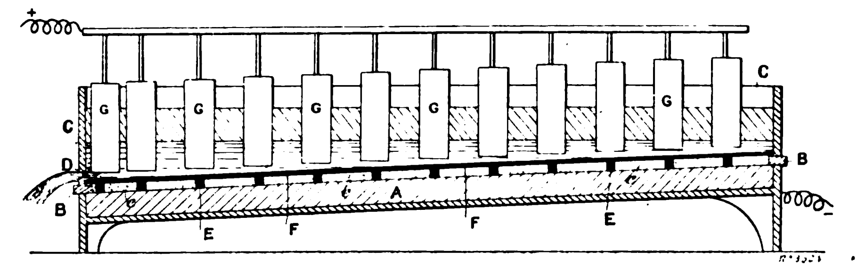


Fig. 19. — Four de la Société Volta (1898).

versé par le haut du four. Les électrodes ont 2,40 m de long et 100 mm de diamètre. Au bout de 5 minutes, la température atteint 3 500°, et l'on réduit en 15 minutes 150 kg. de phosphate.

M. Machalske prétend avoir ainsi isolé un nouveau métal, ayant l'apparence de l'argent,



inattaquable par l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique, et légèrement attaqué par l'acide nitrique concentré : densité 10,2 ; bon conducteur de l'électricité aux températures ordinaires, mais non conducteur à 100° et au-dessus. Il affirme aussi avoir produit, avec

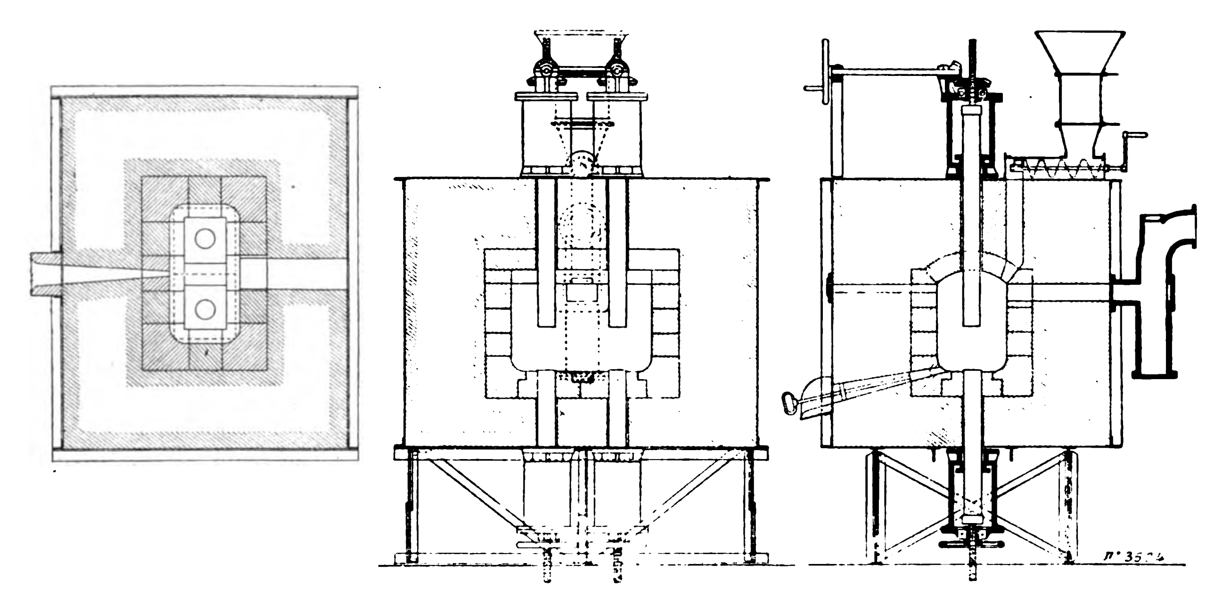


Fig. 20 à 22. — Fours Machalske.

un appareil de condensation convenablement disposé, et par son four électrique, des chlorures de carbone, notamment le tétrachlorure, en y traitant un mélange de sel marin, de carbone et de sable.

Nous signalerons encore, d'après le même journal, du 6 octobre 1900, le four électrique

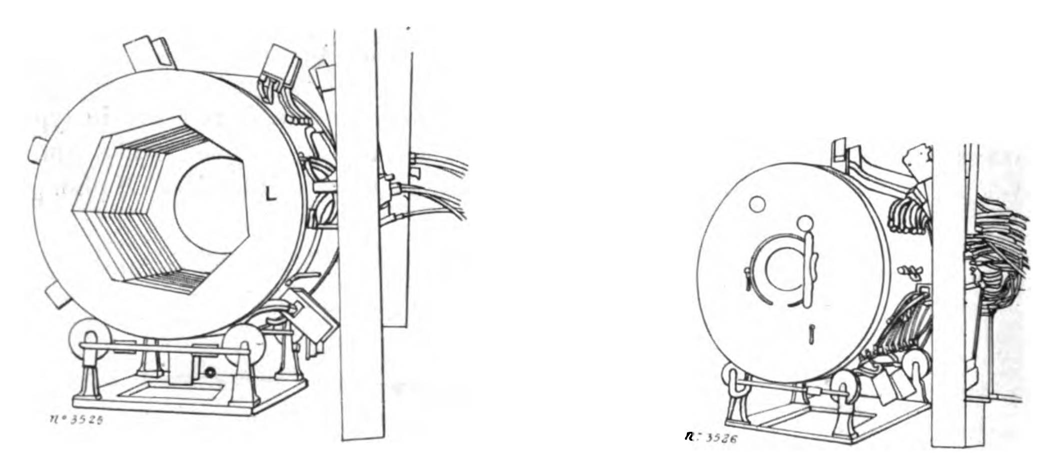


Fig. 23 et 24. — Four tournant Hatch.

rotatif de M. F. E. Hatch, constitué (fig. 23 et 24) par un cylindre porté sur des galets et garni à l'intérieur de barres de carbone, disposées en 10 polygones de 7 barres chacun, et électriquement indépendants.

Ce cylindre fait un demi-tour par minute. On le remplit de minerai au tiers environ, puis on le met en rotation. A mesure que les rangées de barres de carbone passent, comme en

L (fig. 23) devant les contacts du circuit, elles en reçoivent le courant, qui les porte successivement au rouge blanc.

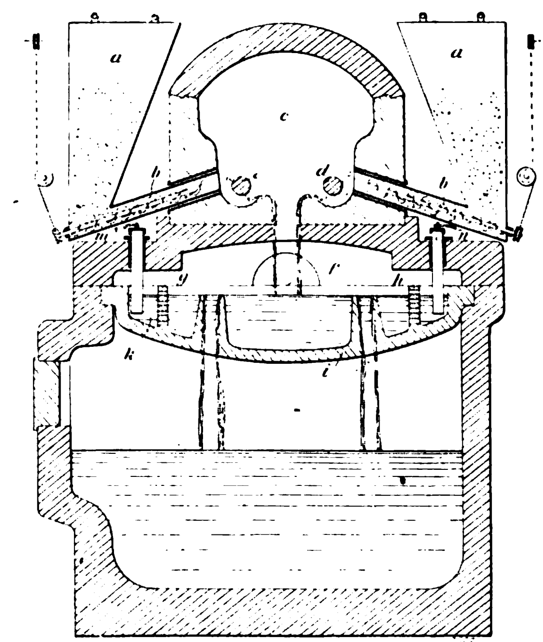


Fig. 25. — Four Voelker (1900).

Ici, le courant ne traverse pas la matière, il ne fait que la chauffer aussi uniformément que possible. Ce four aurait donné, à l'essai, de bons résultats avec des minerais de plomb et de zinc très réfractaires, et qui exigent un réglage exact de la température à cause de la volatilité de leur métaux.

Dans le four essayé, les barres de charbon avaient 25 × 50 mm ; elles reposent sur un garnissage réfractaire et sont espacées de 50 mm. On a ménagé sous les charbons, dans le garnissage, des canaux pour l'écoulement des matières fondues. Le four a 1,20 m de diamètre extérieur et 0,90 m intérieur, sur 1,50 m de long à l'extérieur et 1,40 m à l'intérieur. Le courant est de 600 ampères 10 volts. On peut fondre 3 tonnes en 3 heures, dont 2 heures pour le grillage et une pour la fusion proprement dite ; le grillage se fait à 550° environ et la fusion à 800° degrés pour la galène. D'après M. Hatch, avec l'électricité à 5 centimes le kilowatt-heure, la fusion électrique reviendrait à 7,50 fr. par tonne au lieu de 30 à 40 fr, avec du coke par la méthode ordinaire. Le four de M. Hatch est exploité par la Hatch Electric Smelting C°, de Green Bay, Wisconsin, qui aurait déjà reçu commande de 40 de ces appareils pour une mine du Canada.

Fig. 26 à 28. — Four Luhne (1900).

On a souvent proposé, et même essayé, mais, jusqu'à présent sans succès l'emploi des fours électriques pour la *fusion du verre ;* cette intéressante question vient d'être reprise tout récemment par deux inventeurs allemands MM. Voelker et Luhne.

Dans l'appareil de M. Voelker, la matière première est amenée, des trémies *a* (fig. 25) par les convoyeurs *bb*, dans la chambre *c*, sur les électrodes *e* et *d*, qui la fondent, et d'où elle tombe dans le bain *i*, où elle est soumise au courant des électrodes *m* et *n*, séparées du bain par les murettes *g* et *h*, afin de ne pas salir le verre par les parcelles détachées de ces électrodes. Cette seconde fusion aurait pour effet de débarrasser le verre de ses bulles d'air d'une façon paraît-il absolument complète.

M. Luhne fait tomber la matière d'une façon continue dans la trémie A (fig. 26), d'ou elle est répartie par le prisme *d* à la zone de fusion, entre l'électrode négative prismatique creuse *l* et les deux rangées d'électrodes positives 2 et 3. On peut à volonté, rafraîchir



l'électrode *l* par un courant d'air froid, ou injecter dans la zone de fusion de l'hydrogène par les trous *o* de cette électrode.

De A, la matière fondue tombe en B, par l'orifice *g*, sur les électrodes 4 et 5, qui en maintiennent la fusion, puis, de B, dans les chambres C, E et F, chauffées par des gaz admis par G, qui s'échappent par la cheminée 23, après avoir circulé, par 22, tout autour du four, chauffé, d'autre part, par électrodes M, et dont la vidange se fait par 29.

En général, une seule trémie A suffit pour deux fours, que le clapet 27 (fig. 26) permet de desservir alternativement.

G. RICHARD.

LA DUALITÉ EN ÉLECTROTECHNIQUE

Nous avons signalé dans un précédent article [1] la dualité existant dans l'étude des courants électriques. Nous n'avons pas, dans cette étude, distingué la nature des courants et des forces électromotrices qui pouvaient être continus ou variables et, dans ce dernier cas, les symboles désignaient les valeurs instantanées. Actuellement nous allons montrer que cette dualité se poursuit dans l'étude des courants alternatifs sinusoïdaux, et de plus nous allons rencontrer un autre genre de dualité particulière à ce genre de courants et venant en quelque sorte se greffer sur la précédente.

Les notations que nous employons étant spéciales, il nous est nécessaire de rappeler brièvement leur origine et leur signification.

1. EQUATION FONDAMENTALE D'UN CIRCUIT AYANT DES FORCES ÉLECTROMOTRICES D'INDUCTION ET DE CAPACITÉ. — L'équation générale des forces électromotrices est [2]

$$\mathcal{E} + E + RI = 0.$$

(1) *L'Éclairage Électrique* des 18 et 25 mai 1901, t. XXVII, p. 252 et 278.

(2) Cette équation se déduit du *principe de la conservation de l'énergie* qu'on peut énoncer ainsi :

Dans un système soumis à des actions mécaniques, calorifiques, électriques et chimiques, la variation de l'énergie totale est égale à la somme des travaux des forces extérieures plus la variation des énergies calorifiques, électriques et chimiques.

Le travail des forces extérieures étant égal et de signe contraire au travail extérieur fourni par le système $\mathcal{T}_e$, nous écrirons

$$dW_t = -\mathcal{T}_e + dW_{ca} + dW_e + dW_{ch}.$$

Chacun des termes du second membre peut être évalué comme il suit :

Travail mécanique. — Le théorème des forces vives donne une évaluation du travail des forces extérieures égale à la somme des variations de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle

$$\mathcal{T}_e = \frac{d}{2}\left[K\left(\frac{d\alpha}{dt}\right)^2\right] + Id\Phi + QdU.$$

Énergie calorifique. — La quantité de chaleur absorbée par le système se compose de la chaleur Joule changée de signe $-RI^2$ et des quantités de chaleur dues aux effets thermoélectriques $-\mathcal{E}'Idt$.

$$dW_{ca} = -RI^2dt - \mathcal{E}'Idt.$$

Énergie chimique. — L'énergie chimique étant toujours proportionnelle à la quantité d'électricité qui a passé, on posera

$$dW_{ch} = -\mathcal{E}''Idt.$$

Énergie électrique. — Nous supposerons que le système n'est en communication électrique avec l'extérieur qu'en



Nous désignons par $\mathcal{E}$ la somme des forces contre-électromotrices voltaïques qui sont pratiquement constantes et des forces contre-électromotrices d'induction et de capacité.

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}' + \mathcal{E}'' + \frac{d\Phi}{dt} + Q\frac{dU}{dq}.$$

Chacune de ces deux dernières peut se décomposer en deux.

En effet le flux total Φ qui traverse le circuit peut se décomposer en deux :

1° Un flux extérieur Φ_1 produisant une force électromotrice d'induction ;

$$-\mathcal{E}_1 = -\frac{d\Phi_1}{dt}.$$

2° Un flux Φ_2 dû au courant lui-même ou flux de self-induction qu'on suppose proportionnel au

---

deux points où le potentiel est V_A et V_B. Si on prend comme sens positif du circuit le sens de A vers B, les courants étant positifs, s'ils circulent dans le sens positif, négatifs dans le cas contraire, l'énergie électrique fournie au circuit est dans tous les cas

$$dW_e = -(V_B - V_A)\,Idt.$$

On aura donc :

$$dW_t = -\frac{d}{2}\left[K\left(\frac{d\alpha}{dt}\right)^2\right] - Id\Phi - QdU - RI^2dt - (\mathcal{E}' + \mathcal{E}'')\,Idt - (V_B - V_A)\,Idt.$$

L'expérience montre que dans le système les quatre énergies se transforment entre elles. Par exemple, il y a équivalence entre les énergies mécanique, calorifique et chimique recueillies et l'énergie électrique fournie. Il faut donc que l'on ait

$$dW_t = 0$$

d'où

$$W_t = 0,$$

puisque l'on peut prendre arbitrairement l'origine des énergies.

Donc l'*énergie totale d'un circuit électrique est nulle*. Ce qui veut dire que le circuit sert seulement d'intermédiaire, de canal pour la transformation des différentes énergies.

Nous supposerons le circuit immobile : l'énergie cinétique $\frac{d}{2}\left[K\left(\frac{d\alpha}{dt}\right)^2\right]$ sera nulle et l'on aura en divisant tout par Idt

$$V_B - V_A + RI + (\mathcal{E}' + \mathcal{E}'') + \frac{d\Phi}{dt} + \frac{Q}{I}\frac{dU}{dt} = 0.$$

Cette équation montre que la différence de potentiel $V_A - V_B$ aux bornes d'un circuit est égale à la somme de quatre termes :

1° Le terme RI appelé chute ohmique :

2° Le terme $(\mathcal{E}' + \mathcal{E}'')$ appelé force contre-électromotrice voltaïque ;

3° Le terme $\frac{d\Phi}{dt}$ appelé force contre-électromotrice d'induction ;

4° Le terme $\frac{Q}{I}\frac{dU}{dt}$ appelé force contre-électromotrice de capacité.

Lorsque le circuit est ouvert et qu'il existe entre les bornes une différence de potentiel $V_A - V_B$, il est évident que tout se passe comme si le circuit était fermé et qu'au point de jonction existait une force contre-électromotrice de nature spéciale égale à $V_B - V_A$.

Posons donc

$$E = V_B - V_A$$

que nous appellerons *force contre-électromotrice extérieure*.

De même posons

$$\mathcal{E} = (\mathcal{E}' + \mathcal{E}'') + \frac{dQ}{dt} + Q\frac{dU}{dt}$$

que nous appellerons *force contre-électromotrice intérieure*.

On aura alors finalement l'équation :

$$\mathcal{E} + E + RI = 0.$$

***

courant et qui donne une force électromotrice de self-induction,

$$-L\frac{dI}{dt}.$$

De telle sorte que

$$\frac{d\Phi}{dt}=\mathcal{E}_1+L\frac{dI}{dt}.$$

De même le potentiel total U peut se décomposer en deux

1° Un potentiel U_1 dû au champ extérieur et produisant une force électromotrice de capacité

$$-\mathcal{E}_2=-Q\frac{dU_1}{dq}.$$

2° Un potentiel U_2 dû au courant lui-même et produisant une force électromotrice de capacité intérieure

$$U_2=\frac{Q}{C}$$

$$Q\frac{dU_2}{dq}=\frac{Q}{C}.$$

On a donc

$$\mathcal{E}=(\mathcal{E}'+\mathcal{E}'')+(\mathcal{E}_1+\mathcal{E}_2)+L\frac{dI}{dt}+\frac{Q}{C}.$$

Appelons cette fois $\mathcal{E}$ l'ensemble des termes $(\mathcal{E}'+\mathcal{E}'')+(\mathcal{E}_1+\mathcal{E}_2)$.

On aura l'équation :

$$\mathcal{E}+E+RI+L\frac{dI}{dt}+\frac{Q}{C}=0,$$

Que l'on peut encore écrire :

$$\mathcal{E}+E+\frac{Q}{C}+R\frac{dQ}{dt}+L\frac{d^2Q}{dt^2}=0.$$

Telle est l'équation fondamentale d'un circuit ayant des forces électromotrices d'induction et de capacité.

2. Echange des énergies. — Le jeu des échanges des énergies pendant un temps infiniment petit dt est exprimé par l'équation.

$$\mathcal{E}Idt+EIdt+\frac{1}{C}QdQ+RI^2dt+LIdI=0.$$

$EIdt$ est l'énergie fournie au circuit par la force électromotrice externe.

$\left(\frac{1}{C}QdQ+LIdI+\mathcal{E}Idt\right)$ est l'énergie fournie au circuit par la force électromotrice interne ;

RI^2dt est la chaleur Joule, toujours positive ;

$\mathcal{E}Idt$ est l'énergie interne proprement dite ;

$\frac{1}{C}QdQ+LIdI$ est l'*énergie intrinsèque* du circuit ; elle se compose de deux parties :

$\frac{1}{C}QdQ$ énergie absorbée par les condensateurs quand Q augmente en valeur absolue est restituée quand Q diminue ;

$LIdI$ énergie absorbée par les selfs quand I augmente en valeur absolue et restituée quand I diminue.

3. Equation générale d'un circuit portant courant alernatif. — Supposons que la force contre



électromotrice interne $\mathcal{E}$ soit une fonction harmonigue du temps, que la force contre électromotrice externe E soit aussi une fonction harmonique de même période. La somme $\mathcal{E}+E$ sera donc une fonction harmonique. Soit :

$$\mathcal{E} + E = \varepsilon_0 \sin \omega t.$$

On aura donc la relation

$$\frac{Q}{C} + R \frac{dQ}{dt} + L \frac{d^2Q}{dt^2} = \varepsilon_0 \sin \omega t$$

équation différentielle qui détermine Q en fonction de t. Dans le cas général l'intégration est compliquée. Mais si l'on suppose que l'on se trouve à l'état de régime, Q sera une fonction harmonique de pulsation ω.

Nous poserons

$$\varepsilon = \frac{Q}{C} + RI + L \frac{dI}{dt}$$

et l'on aura l'équation générale des courants alternatifs,

$$\mathcal{E} + E + \varepsilon = 0.$$

Nous avons ainsi associé à RI c'est-à-dire à la chute ohmique deux termes $\frac{Q}{C}$ et $L\frac{dI}{dt}$ que nous avons extraits de la force contre-électromotrice intérieure

Les forces contre-électromotrices dues à la self-induction et à la capacité sont en effet des éléments du circuit analogues à la force contre-électromotrice due à la résistance. Toutes les trois sont nécessaires et existent forcément du fait de l'existence du courant. Elles entraînent toujours une chute de potentiel nuisible.

Cependant il existe une grosse différence entre la chute ohmiqne et les deux autres. La première se fait toujours avec dépense d'énergie tandis que ces deux derniers se font sans aucun gain ni perte.

4. Energies. Puissances. — Pendant le temps dt, l'énergie externe est toujours $EIdt$. L'énergie interne se décompose en :

Energie interne proprement dite, $\mathcal{E}Idt$

Energie intrinsèque, $\frac{1}{C} QdQ + LIdI$

Energie Joule, RI^2dt

Il est évident, quant aux puissances à envisager, que l'on devra prendre les puissances moyennes pendant une période. Mais ici un fait important se présente.

La puissance moyenne mise en jeu par les énergies intrinsèques est nulle. — En effet Q et I étant des fonctions harmoniques

$$\int_0^T QdQ = \left[\frac{1}{2} Q^2\right]_0^T = 0 \qquad \text{car } Q_0 = Q_T$$

$$\int^T IdI = \left[\frac{1}{2} I^2\right]_0^T = 0 \qquad \text{car } \Phi_0 = I_T .$$

Ainsi donc puisque ces deux intégrales sont nulles, on peut les négliger dans l'expression de la puissance interne et pour la même raison, on peut les reporter dans l'expression de la puissance perdue Joule.

Dans ces conditions nous appellerons

Puissance externe ou génératrice, l'intégrale $P = \frac{1}{T} \int_0^T EIdt.$

Puissance interne ou réceptrice, l'intégrale $\mathfrak{P} = \frac{1}{T} \int_0^T \mathcal{E}Idt.$

Puissance perdue, $p = \frac{1}{T} \int_0^T \left(RI + \frac{Q}{C} + L\frac{dI}{dt}\right) Idt = \frac{1}{T} \int_0^T \varepsilon Idt.$



On voit donc que par cet artifice, dans le cas des courants alternatifs, $\mathfrak{P}$, P et p seront les intégrales des trois termes de l'équation

$$\mathcal{E} + E + \varepsilon = 0$$

multipliés par Idt, de même que c'étaient, dans le cas général, les intégrales des trois termes de de l'équation

$$\mathcal{E} + E + RI = 0$$

multipliés par Idt; de plus la distinction des trois circuits reste la même :

Circuit générateur P > o
Circuit récepteur $\mathfrak{P}$ > o
Circuit mixte $\mathfrak{P}$P > o.

5. Chute de tension intérieure. — La quantité $\varepsilon = RI + \frac{Q}{C} + L\frac{dI}{dt}$ qui donne la puissance perdue se nomme *chute de tension intérieure* du circuit. Dans l'hypothèse où ε est une fonction périodique de pulsation ω, Q est une fonction périodique de même pulsation. Alors

$$\frac{dI}{dt} = \frac{d^2Q}{dt^2} = -\omega^2 Q.$$

D'où

$$Q = -\frac{1}{\omega^2}\frac{dI}{dt}$$

En remplaçant, dans l'expression de ε, Q par cette valeur on aura :

$$\varepsilon = RI + \left(L - \frac{1}{C\omega^2}\right)\frac{dI}{dt}.$$

On voit donc que ε est de la forme :

$$\varepsilon = RI + L\frac{dI}{dt}$$

la notation L n'étant plus la même que ci-dessus

6. Équations réciproques. — L'équation précédente définit I comme fonction de ε. Cherchons à exprimer I explicitement en fonction de ε. On a, en prenant la dérivée,

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = R\frac{dI}{dt} - L\omega^2 I.$$

Multiplions par L :

$$L\frac{d\varepsilon}{dt} = R - L\frac{dI}{dt} - L^2\omega^2 I.$$

Remplaçons $L\frac{dI}{dt}$ par $\varepsilon - RI$:

$$L\frac{d\varepsilon}{dt} = R[\varepsilon - RI] - L^2\omega^2 I.$$

D'où,

$$I = \frac{R}{R^2 + L^2\omega^2}\varepsilon - \frac{L}{R^2 + L^2\omega^2}\frac{d\varepsilon}{dt}.$$

Ce qu'on peut écrire :

$$I = K\varepsilon + C\frac{d\varepsilon}{dt},$$



en posant

$$K = \frac{R}{R^2 + L^2\omega^2}$$

$$C = \frac{-L}{R^2 + L^2\omega^2}. \text{ [1]}$$

Remplaçons maintenant ε par $-(\mathcal{E} + E)$, on aura :

$$-I = \left(K\mathcal{E} + C\frac{d\mathcal{E}}{dt}\right) + KE + C\frac{dE}{dt}.$$

Or remarquons que $K\mathcal{E} + C\frac{d\mathcal{E}}{dt}$ est la valeur de $-I$ lorsque E est nul. C'est l'intensité de court-circuit changée de signe. Nous la désignerons par $\mathfrak{J}$ comme pour les courants continus. De plus en posant

$$\iota = KE + C\frac{dE}{dt},$$

on aura finalement

$$\mathfrak{J} + I + \iota = 0.$$

On aura donc les deux séries de formules réciproques :

$$\left.\begin{aligned} \mathcal{E} + E + \varepsilon &= 0 \\ \varepsilon &= RI + L\frac{dI}{dt} \\ R &= \frac{K}{K^2 + C^2\omega^2} \\ L &= \frac{-C}{K^2 + C^2\omega^2} \end{aligned}\right\} \qquad \left.\begin{aligned} \mathfrak{J} + I + \iota &= 0 \\ \iota &= KE + C\frac{dE}{dt} \\ K &= \frac{R}{R^2 + L^2\omega^2} \\ C &= \frac{-L}{K^2 + L^2\omega^2} \end{aligned}\right\}$$

K est homogène à une conductance, inverse d'une résistance, mais n'est égal à $\frac{1}{R}$ que si L est nul. C est homogène à une capacité, mais n'est égal à la capacité réelle que si R est nul et si la self-induction réelle est nulle.

7. Emploi des imaginaires. — Les résultats précédents s'obtiennent immédiatement par l'emploi des imaginaires. En effet l'équation

$$\varepsilon = RI + L\frac{dI}{dt}$$

peut s'écrire

$$\bar{\varepsilon} = [R + iL\omega]\,\bar{I}$$

D'où

$$\bar{I} = \frac{\bar{\varepsilon}}{[R + iL\omega]} = \frac{R - iL\omega}{R^2 + L^2\omega^2}\,\bar{\varepsilon}$$

où d'après nos notations

$$\bar{I} = [K + i\omega C]\,\bar{\varepsilon}$$

$$-\bar{I} = [K + i\omega C]\,\overline{\mathcal{E} + E}$$

[1] C n'est pas le même que ci-dessus.

Nous posons

$$\overline{\mathfrak{J}} = [K + i\omega C]\,\overline{\mathcal{E}}$$

et

$$\overline{\iota} = [K + i\omega C]\,\overline{E}$$

on aura donc finalement

$$\overline{\mathfrak{J}} + \overline{I} + \overline{\iota} = 0.$$

Et puisque l'équation ne contient pas l'unité imaginaire, on aura entre qnantités réelles

$$\mathfrak{J} + I + \iota = 0.$$

8. *Définitions.* — Dans les équations précédentes entrent quatre constantes fondamentales, R, L, K et C, qui sont réciproques deux à deux.

R est la *résistance* du circuit.

L est l'*inductance*. L'inductance peut être de la forme $L - \frac{1}{\omega^2 C}$.

Dans ce cas, L gardant le nom d'inductance, $-\frac{1}{\omega^2 C}$, s'appelle capacitance.

K peut s'appeler la *conductance fictive* du circuit.

C peut s'appeler la *capacité fictive* du circuit.

La quantité $M = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$ qui est homogène à une résistance s'appelle *impédance*.

$L\omega$ s'appelle *réactance*. Nous poserons $S = L\omega$.

La quantité $[M] = R + iS$ est l'*inpédance imaginaire*.

La quantité $N = \sqrt{K^2 + C^2\omega^2}$ est la réciproque de l'impédance. $C\omega$ est la réciproque de la réactance. Nous poserons $Z = C\omega$.

La quantité $[N] = K + iZ$ est la réciproque de l'impédance imaginaire.

Remarquons d'ailleurs que l'on a :

$$N = \frac{1}{M} \quad \text{et} \quad \overline{N} = \frac{1}{\overline{M}}.$$

9. Equations générales des courants alternatifs dans la notation imaginaire. — Les équations

$$\left.\begin{aligned} \mathcal{E} + E + \left(RI + L\frac{dI}{dt}\right) = 0 \\ \mathfrak{J} + I + \left(KE + C\frac{dE}{dt}\right) = 0 \end{aligned}\right\}$$

deviennent, en employant la notation imaginaire,

$$\left.\begin{aligned} \overline{\mathcal{E}} + \overline{E} + [R + i\omega L]\,\overline{I} = 0 \\ \overline{\mathfrak{J}} + \overline{I} + [K + i\omega C]\,\overline{E} = 0 \end{aligned}\right\}$$

c'est-à-dire d'après nos notations,

$$\left.\begin{aligned} \overline{\mathcal{E}} + \overline{E} + \overline{M}\overline{I} = 0 \\ \overline{\mathfrak{J}} + \overline{I} + \overline{N}\overline{E} = 0 \end{aligned}\right\}$$

On retrouve donc dans la notation imaginaire les mêmes équations que pour les courants continus avec la seule différence que la résistance ohmique et la conductance sont remplacées par l'impédance et sa réciproque.



10. Représentation géométrique. —

Nous avons trouvé les deux équations

$$E + \mathcal{E} + \varepsilon = 0 \qquad (1)$$

$$\varepsilon = RI + L\frac{dI}{dt} \qquad (2)$$

L'équation (1) signifie que la somme géométrique des trois vecteurs représentant E, $\mathcal{E}$, et ε est nulle En d'autres termes ils forment un triangle (fig. 1).

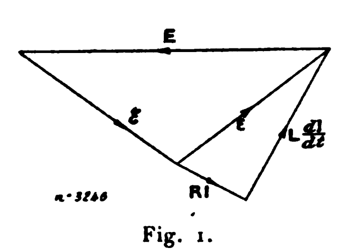


Fig. 1.

L'équation (2) signifie que le vecteur représentant ε est la résultante géométrique des deux vecteurs représentant RI et E $\frac{dI}{dt}$; ces deux vecteurs sont de plus rectangulaires.

Nous avons trouvé les deux équations

$$I + \mathfrak{I} + \iota = 0 \qquad (1)$$

$$\iota = KE + C\frac{dE}{dt} \qquad (2)$$

L'équation (1) signifie que la somme géométrique des trois vecteurs représentant I, $\mathfrak{I}$ et ι est nulle. En d'autres termes ils forment un triangle (fig. 2).

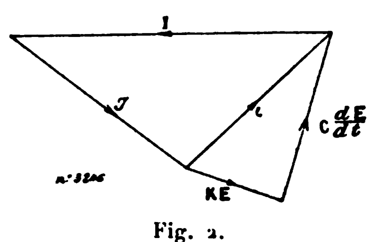


Fig. 2.

L'équation (2) signifie que le vecteur représentant ι est la résultante géométrique des deux vecteurs représentant KE et C $\frac{dE}{dt}$; ces deux vecteurs sont de plus rectangulaires.

11. Puissances. — L'intégrale de puissance $\frac{1}{T}\int_0^T EI\,dt$ est représenté en grandeur et en signe par le produit géométrique.

$$E_{eff}\, I_{eff} \cos(\widehat{EI})$$

des deux vecteurs représentant E et I. L'intégrale sera positve, négative ou nulle, suivant que l'angle des deux vecteurs sera aigu, obtus ou droit. On possède donc là un moyen facile de reconnaître sur un diagramme le signe d'une puissance.

Comme application de cette règle, on trouve immédiatement que la puissance perdue $\frac{1}{T}\int_0^T \varepsilon\, I\,dt$ se réduit à RI^2 puisque le vecteur $\frac{dI}{dt}$ est perpendiculaire à RI et ne donne par conséquent rien dans la somme.

De même, la puissance $\frac{1}{T}\int_0^T \iota\, E\,dt$ se réduit à KE^2, puisque le vecteur $C\frac{dE}{dt}$ est perpendiculaire à KE.

Si donc on multiplie l'équation

$$\mathcal{E} + E + \varepsilon = 0$$

par $I\,dt$ et si on intègre, on aura :

$$[\mathcal{E}I] + [EI] + RI^2 = 0,$$

Si donc on multiplie l'équation

$$\mathfrak{I} + I + \iota = 0$$

par $E\,dt$ et si on intègre, on aura :

$$[\mathfrak{I}E] + [IE] + KE^2 = 0,$$

en désignant par les crochets le produit géométrique des facteurs qu'ils renferment.

Si entre les deux équations

$$\overline{\mathcal{E}} + \overline{E} + \overline{MI} = 0$$

et

$$\overline{\mathfrak{I}} + \overline{I} + \overline{NE} = 0$$

on élimine $\overline{M}$ et $\overline{N}$ en se servant de la relation $\overline{M}\,\overline{N} = 1$, on trouvera

$$\overline{\mathcal{E}\mathcal{J}} + \overline{\mathcal{E}I} + \overline{E\mathcal{J}} = 0$$

où bien

$$\frac{\overline{E}}{\overline{\mathcal{E}}} + \frac{\overline{I}}{\overline{\mathcal{J}}} + 1 = 0.$$

Nous trouvons donc les trois équations suivantes :

$$[\mathcal{E}I] + [EI] + RI^2 = 0$$
$$[\mathcal{J}E] + [IE] + KE^2 = 0$$
$$\overline{E\mathcal{J}} + \overline{\mathcal{E}I} + \overline{E\mathcal{J}} = 0$$

analogues à celles que nous avons trouvées pour les courants continus. Mais remarquons que si les produits géométriques $[\mathcal{E}I]$, $[\mathcal{J}E]$ et $[\mathcal{E}I]$ représentent encore ici des puissances, il n'en est plus de même des produits d'imaginaires $\overline{\mathcal{E}\mathcal{J}}$, $\overline{EI}$ et $\overline{E\mathcal{J}}$, qui n'ont aucune signification.

De plus dans le cas des courants continus, de ces trois équations, nous avons tiré des indications pour les signes des puissances. Ici nous pouvons seulement conclure, puisque RI^2 et KE^2 sont toujours positifs, que $\mathcal{E}I$ et $\mathcal{J}E$ ne seront jamais positifs en même temps que EI.

Donc au lieu d'avoir trois cas seulement à distinguer, nous en aurons cinq représentés dans le tableau suivant :

$[EI]$	$[\mathcal{E}I]$	$[\mathcal{J}E]$	NATURE DU CIRCUIT
+	−	−	Générateur.
−	+	+	Récepteur.
−	+	−	
−	−	−	Mixte.
−	−	+	

Puisque nous représentons $\mathcal{E}$, E et ε par trois vecteurs formant un triangle, il sera facile de distinguer les trois cas d'après les deux angles $\widehat{EI}$ et $\widehat{\mathcal{E}I}$. Ainsi on aura :

Un circuit générateur quand $\widehat{EI}$ *est aigu.*

Un circuit récepteur quand $\widehat{\mathcal{E}I}$ *est aigu.*

Un circuit mixte quand $\widehat{\mathcal{E}I}$ *et* $\widehat{EI}$ *sont tous deux obtus.*

12. Réciprocité entre les circuits générateurs et les circuits récepteurs. — On peut énoncer le théorème suivant :

Etant donné un circuit (1) où les forces électromotrices et différence de potentiel sont E_1, $\mathcal{E}_1$ et ε_1, si on considère un circuit (2) défini par les égalités

$$E_2 = \mathcal{E}_1, \qquad \mathcal{E}_2 = E_1. \qquad \varepsilon_2 = \varepsilon_1$$

le nouveau circuit s'appelle le circuit réciproque du circuit (1), le circuit (1) pourrait s'obtenir à partir du circuit (2) de la même manière que le circuit (2) du circuit (1).

Ces deux circuits jouissent de la propriété suivante :

Si le circuit (1) est,	le circuit (2) sera
générateur	récepteur
récepteur	générateur
mixte	mixte

La démonstration est immédiate, il suffit d'examiner ce que deviennent les signes des puissances. En effet, la puissance perdue reste la même. Les deux autres puissances s'échangent. De sorte que :

Si l'on avait pour le circuit (1) les signes, on aura pour le circuit (2) les signes,

P	$\mathfrak{P}$		P	$\mathfrak{P}$	
—	—	(mixte)	—	—	(mixte)
—	+	(récepteur)	+	—	(générateur)
+	—	(générateur)	—	+	(récepteur)

Ce théorème sera d'une extrême utilité, car toute proposition démontrée pour un circuit donnera une proposition corrélative pour le circuit réciproque. Nous allons montrer l'usage qu'on peut en faire dans l'étude des circuits.

13. Etude des circuits. — Dans l'étude d'un circuit, on suppose constantes certaines grandeurs du circuit et l'on cherche de quelle façon varient les autres quand l'une d'elles est prise pour variable indépendante. Ces variations seront représentées sur les diagrammes par les lieux géométriques des extrémités des vecteurs représentant ces grandeurs.

Parmi toutes les phases des grandeurs périodiques entrant dans la question, il en est une que l'on doit prendre comme origine des phases et c'est du choix convenable de cette phase que dépendra souvent la simplicité du lieu géométrique.

Dans tout ce qui suit, nous supposerons que l'inductance du circuit intérieur reste constante ainsi que sa résistance et par suite la réactance. En d'autres termes les quantités r, $L\omega$ restent constantes, ainsi que $\operatorname{tg} \varphi = \frac{r}{L\omega}$.

La résistance r étant toujours positive, φ sera positif ou négatif selon que la réactance $s = L\omega$ sera positive ou négative. Le cas de s négatif ne peut se présenter que dans le cas où l'inductance contient une capacitance.

$$\varepsilon = rI + L\frac{dI}{dt}$$

Remarquons que

$$\varepsilon_0 = I_0\sqrt{r^2 + s^2} = \frac{sI_0}{\sin\varphi} = \frac{rI_0}{\cos\varphi}.$$

En d'autres termes, ε est proportionnel à I et peut par conséquent servir à représenter I (en grandeur, mais non en direction) en prenant une échelle convenable des intensités.

Si l'échelle des forces électromotrices est de m millimètres pour 1 volt, l'échelle des intensités devra être de $m\sqrt{r^2 + s^2}$ millimètres pour 1 ampère.

L'étude d'un circuit peut se faire de deux manières différentes, suivant que l'on suppose constante soit la force électromotrice, soit la différence de potentiel. Mais remarquons qu'un circuit dont la force électromotrice est constante a pour réciproque un circuit dont la différence de de potentiel est constante et réciproquement. De sorte que le fait d'étudier un circuit dont la force électromotrice est constante donnera aussi la solution de l'étude d'un circuit à différence de potentiel constante.

Cependant, pour montrer la corrélation, nous ferons les deux études simultanément. Nous partagerons la page en deux. D'un côté nous traiterons du circuit donné et de l'autre le circuit réciproque. Cependant comme les démonstrations sont absolument identiques des deux côtés, nous traiterons seulement le premier circuit, mettant entre parenthèses ce qui se rapporte au second circuit ; nous ne mettrons séparement pour chacun des circuits que les équations et formules.

14. Etude d'un circuit a différence de potentiel constante (a force électromotrice constante). — Dans ce cas le vecteur E ($\mathcal{E}$) reste constant, il est donc naturel de prendre la phase de E ($\mathcal{E}$) comme origine des phases.

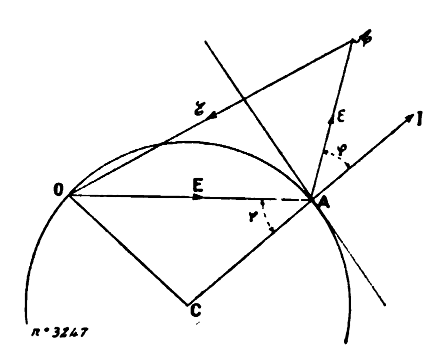
Si on considère le triangle des trois vecteurs $\mathcal{E}$, E, ε, OA ($O\mathcal{A}$) représente E ($\mathcal{E}$), $O\mathcal{A}$ (OA)

****



représente $\mathcal{E}$ (E) et $A\mathcal{A}$ ($\mathcal{A}$A) représente ε. On voit que la position du point A ($\mathcal{A}$) détermine à la fois la différence de potentiel E (la force électromotrice $\mathcal{E}$) et ε c'est à dire le courant. La direction ou la phase du courant s'obtiendra en menant une droite $\mathcal{A}$I (AI) telle que l'angle $\widehat{I\varepsilon}$ soit égale à $+\varphi$.

Le point $\mathcal{A}$ (A) peut être appelé le *point figuratif* de l'état du circuit et du lieu du point $\mathcal{A}$ (A) pendant le fonctionnement peut être appelé *caractéristique bipolaire* puisque les deux vecteurs $\mathcal{E}$ (E) issus chacun d'un point, servent à définir la position du point $\mathcal{A}$ (A).



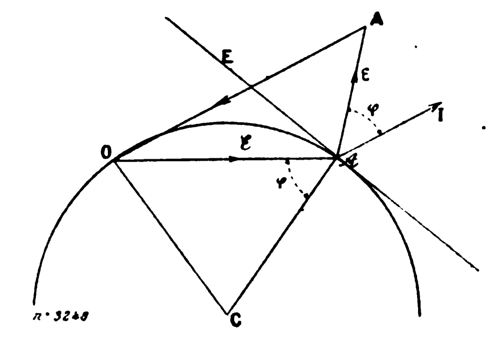


Fig. 3 et 4.

Dans les figures 3 et 4 l'angle $\widehat{\mathcal{E}I}$ ($\widehat{EI}$) est obtus et l'angle $\widehat{EI}$ ($\widehat{\mathcal{E}I}$) est aigu; on a donc un circuit générateur (récepteur).

Une question se pose donc : Pour quelles régions du plan aura-t-on soit un circuit générateur, soit un circuit récepteur, soit un circuit mixte ? La distinction se faisant par l'inspection du signe des puissances, on est conduit à rechercher les *caractéristiques isodynamiques* du circuit.

15. Caractéristique a puissance perdue constante. — L'équation sera

$$p = [\varepsilon I] = C^{te}.$$

$$p = \varepsilon_0 I_0 \cos(\varepsilon I) = \varepsilon_0 I_0 \cos\varphi$$

$$= \frac{\varepsilon^2_0 \cos\varphi}{\sqrt{r^2 + s^2}}$$

ε est donc constant. *Les caractéristiques à puissance perdue constante sont des cercles concentriques ayant pour centre le point* A ($\mathcal{A}$).

Les rayons des cercles sont proportionnels aux racines carrées de ε_0. En prenant deux axes coordonnés ayant pour origine le point A ($\mathcal{A}$) l'axe des x étant dirigé suivant OA (O$\mathcal{A}$), l'équation générale des cercles de puissance perdue constante sera :

$$(x^2 + y^2)\frac{r^2}{r^2 + s^2} = p.$$

16° Caractéristique a puissance génératrice (réceptrice) constante. — On a successivement :

$P = [EI] = C^{te}.$	$\mathcal{P} = [\mathcal{E}I] = C^{te}.$
$= E_0 I_0 \cos(\widehat{EI})$	$= \mathcal{E}_0 I_0 \cos(\widehat{\mathcal{E}I})$
$= E_0 I_0 \cos[\widehat{\varepsilon I} - \widehat{\varepsilon E}]$	$= \mathcal{E}_0 I_0 \cos(\widehat{\varepsilon I} - \widehat{\mathcal{E}\varepsilon})$
$= E_0 I_0 \cos(\alpha - \varphi)$	$= \mathcal{E}_0 I_0 \cos(\alpha - \varphi)$

α désignant l'angle de E ($\mathcal{E}$) avec ε.

En développant

$$P = E_0 I_0 \cos \alpha \cos \varphi + E_0 I_0 \sin \alpha \sin \varphi \qquad \Big| \qquad \mathfrak{P} = \mathcal{E}_0 I_0 \cos \alpha \cos \varphi + \mathcal{E}_0 I_0 \sin \alpha \sin \varphi.$$

Remplaçons I_0 par $\frac{\varepsilon_0}{\sqrt{r^2 + s^2}}$ on aura :

$$P = \frac{E_0 [\varepsilon_0 \cos \alpha \cos \varphi + \varepsilon_0 \sin \alpha \sin \varphi]}{\sqrt{r^2 + s^2}} \qquad \Big| \qquad \mathfrak{P} = \frac{\mathcal{E}_0 [\varepsilon_0 \cos \alpha \cos \varphi + \varepsilon_0 \sin \alpha \sin \varphi]}{\sqrt{r^2 + s^2}}$$

En prenant les mêmes axes que ci-dessus, on a :

$$x = \varepsilon_0 \cos \alpha$$
$$y = \varepsilon_0 \sin \alpha.$$

Donc on aura :

$$P = \frac{E_0}{\sqrt{r^2 + s^2}} [x \cos \varphi + y \sin \varphi] = \frac{E_0 r}{r^2 + s^2} [x + y \operatorname{tg} \varphi] \qquad \Big| \qquad \mathfrak{P} = \frac{\mathcal{E}_0}{\sqrt{r^2 + s^2}} [x \cos \varphi + y \sin \varphi] = \frac{\mathcal{E}_0 r}{r^2 + s^2} [x + y \operatorname{tg} \varphi]$$

C'est une droite perpendiculaire à la droite CA ($\mathcal{C}\mathcal{A}$) faisant un angle φ avec l'axe des x. On sait que $x \cos \varphi + y \sin \varphi$ représente la distance de la droite à l'origine. On a donc pour cette distance :

$$D = P \frac{\sqrt{r^2 + s^2}}{E_0} \qquad \Big| \qquad \mathfrak{D} = \mathfrak{P} \frac{\sqrt{r^2 + s^2}}{\mathcal{E}_0}$$

On voit que cette distance est proportionnelle à P ($\mathfrak{P}$) et qu'elle change de signe avec P ($\mathfrak{P}$).

Donc, *les caractéristiques à puissance génératrice* (*réceptrice*) *constante sont des droites parallèles entre elles*, dont la distance au point A ($\mathcal{A}$) est proportionnelle à P ($\mathfrak{P}$). La caractéristique de puissance génératrice nulle est la droite passant par A ($\mathcal{A}$) et perpendiculaire à CA ($\mathcal{C}\mathcal{A}$).

On sait que le criterium d'un circuit générateur (récepteur) est :

$$P > 0 \qquad \Big| \qquad \mathfrak{P} > 0$$

c'est-à-dire

$$x \cos \varphi + y \sin \varphi > 0.$$

Or la substitution de x et y positifs et très grands donne un résultat positif dans le premier membre.

Donc *les points figuratifs des circuits générateurs* (*récepteurs*) *sont au-dessus de la droite de puissance génératrice* (*réceptrice*) *nulle.*

Les points au-dessous sont des points des circuits récepteurs (générateurs) ou mixtes.

17. — Caractéristique a puissance réceptrice (génératrice) constante. — On sait que

$$P + \mathfrak{P} + p = 0.$$

Donc si P ($\mathfrak{P}$) est constant $P + p$ ($\mathfrak{P} + p$) est constant. Or p est le premier membre de l'équation d'un cercle, P ($\mathfrak{P}$) est le premier membre de l'équation d'une droite, donc $P + p$ ($\mathfrak{P} + p$) sera le premier membre de l'équation d'un cercle passant par les points communs du cercle et de la droite.

D'où

$$p = (x^2 + y^2)\frac{r}{r^2 + s^2}$$

$$P = \frac{r}{r^2 + s^2}(E_0 x + E_0 y\ \mathrm{tg}\,\varphi)$$

$$-\mathfrak{P}\,\frac{r^2 + s^2}{r} = x^2 + y^2 + E_0(x + y\ \mathrm{tg}\,\varphi)$$

$$p = (x^2 + y^2)\frac{r}{r^2 + s^2}$$

$$\mathfrak{P} = \frac{r}{r^2 + s^2}(\mathcal{E}_0 x + \mathcal{E}_0 y\ \mathrm{tg}\,\varphi)$$

$$-P\,\frac{r^2 + s^2}{r}\ x^2 + y^2 + \mathcal{E}_0(x + z\ \mathrm{tg}\,\varphi)$$

Ou en mettant en évidence le centre et le rayon du cercle :

$$\left[x + \frac{E_0}{2}\right]^2 + \left[y + \frac{E_0}{2}\mathrm{tg}\,\varphi\right]^2 = (r^2 + s^2)\left[\frac{E_0^2}{4r^2} - \frac{\mathfrak{P}}{r}\right]$$

Le centre a donc pour coordonnées :

$$-\frac{E_0}{2}, \quad -\frac{E_0}{2}\ \mathrm{tg}\,\varphi$$

$$\left[x + \frac{\mathcal{E}_0}{2}\right]^2 + \left[y + \frac{\mathcal{E}_0}{2}\mathrm{tg}\,\varphi\right]^2 = (r^2 + s^2)\left[\frac{\mathcal{E}_0^2}{4r^2} - \frac{P}{r}\right]$$

$$-\frac{\mathcal{E}_0}{2}, \quad -\frac{\mathcal{E}_0}{2}\ \mathrm{tg}\,\varphi$$

C'est le sommet d'un triangle isocèle ayant pour base E_0 ($\mathcal{E}_0$) et dont les angles à la base sont égaux à φ, soit C ce sommet.

Le rayon du cercle est

$$R = \frac{1}{\cos\varphi}\sqrt{\frac{E_0^2}{4} - \mathfrak{P}r}$$

$$\mathcal{R} = \frac{1}{\cos\varphi}\sqrt{\frac{\mathcal{E}_0^2}{4} - Pr}$$

Les coordonnées du centre ne dépendent pas de $\mathfrak{P}$ (P), par conséquent, lorsque $\mathfrak{P}$ (P) varie, le centre reste fixe.

Donc *les caractéristiques à puissance réceptrice (génératrice) constante sont des cercles concentriques.*

Pour

$$\mathfrak{P} = 0 \qquad R_0 = \frac{E_0}{2\cos\varphi} = CA$$

$$P = 0 \qquad \mathcal{R}_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{2\cos\varphi} = C\mathcal{A}$$

Donc *le cercle de puissance réceptrice (génératrice) nulle est le cercle passant par* A *et* O ($\mathcal{A}$ *et* O).

On voit que si

$\mathfrak{P} < 0$	$R > CA$	$P < 0$	$\mathcal{R} > C\mathcal{A}$
$\mathfrak{P} > 0$	$R < CA$	$P > 0$	$\mathcal{R} < C\mathcal{A}$

Donc *les points figuratifs des circuits récepteurs (générateurs) seront à l'intérieur du cercle de puissance réceptrice (génératrice) nulle.*

Les points à l'extérieur seront des points figuratifs des circuits générateurs (récepteurs) ou mixtes.

Remarquons que, $\mathcal{R}$ (R) devant être réel, la plus grande valeur de $\mathfrak{P}$ (P) sera $\frac{E_0^2}{4r}\left[\frac{\mathcal{E}_0^2}{4r}\right]$. Pour cette valeur le cercle se réduit au point C, $\mathfrak{P}$ (P) variera donc de $\frac{E_0^2}{4r}\left(\frac{\mathcal{E}_0^2}{4r}\right)$ jusqu'à o pour les valeurs positives et de *o* à $-\infty$ pour les valeurs négatives. $\frac{E_0^2}{4r}\left(\frac{\mathcal{E}_0^2}{4r}\right)$ est donc le maximum de la puissance réceptrice (génératrice).

On peut facilement démontrer ce théorème :

Théorème. — La puissance réceptrice (génératrice) maxima est la moitié de la puissance génératrice (réceptrice).

Il suffit de calculer à quelle puissance génératrice (réceptrice) correspond la droite de puissance génératrice (réceptrice) constante qui passe par le point C.

La longueur CA ($C\mathcal{A}$) est $\frac{E_0}{2\cos\varphi}\left[\frac{\mathcal{E}_0}{2\cos\varphi}\right]$. Il faudra donc que l'on ait

$\frac{E_0}{2\cos\varphi} = \frac{P\sqrt{r^2+s^2}}{E_0} = \frac{Pr}{E_0\cos\varphi}$	$\frac{\mathcal{E}_0}{2\cos\varphi} = \frac{\mathcal{P}\sqrt{r^2+s^2}}{\mathcal{E}_0} = \frac{\mathcal{P}r}{\mathcal{E}_0\cos\varphi}$
D'où $P = \frac{E^2_0}{2r} = 2\mathcal{P}_{max}$	$\mathcal{P} = \frac{\mathcal{E}^2_0}{2r} = 2P_{max}.$

ce qui démontre le théorème

Si sur la droite CA ($C\mathcal{A}$), à côté de l'extrémité du rayon de chaque cercle de puissance réceptrice (génératrice) constante, on inscrit la valeur de la puissance correspondante, on aura ainsi une échelle des puissances réceptrices (génératrices). On peut voir que si on trace les circonférences correspondant à des puissances croissant d'hectowatt en hectowatt, par exemple, les cercles sont de plus en plus denses à mesure que $\mathcal{P}$ (P) diminue.

De plus le théorème précédent nous montre que si l'on trace les droites d'égale puissance génératrice (réceptrice) entre les points O et A ($\mathcal{A}$), d'hectowatt en hectowatt, leur nombre sera le double des cercles d'égale puissance réceptrice (génératrice) et elles seront également espacées.

18. — Conclusions. — De ce qui précède, il suit que :

A l'intérieur du cercle $\mathcal{P} = 0$, le circuit est *récepteur*. Au-dessus de la droite $P = 0$ le circuit est *générateur*.	A l'intérieur du cercle $P = 0$, le circuit est *récepteur*. Au-dessus de la droite $\mathcal{P} = 0$, le circuit est *générateur*.

Dans la portion comprise entre le cercle et la droite, le circuit est *mixte*.

Si on trace en traits pleins les cercles $\mathcal{P} > 0$ et les droites $P < 0$; Si on trace en traits discontinus les cercles $\mathcal{P} < 0$ et les droites $P > 0$,	Si on trace en traits pleins les cercles $P > 0$ et les droites $\mathcal{P} < 0$; Si on trace en traits discontinus les cercles $P < 0$ et les droites $\mathcal{P} > 0$,

la région où il n'y a que des traits pleins sera la région *réceptrice* (*génératrice*), la région où il n'y a que des traits discontinus sera la région *génératrice* (*réceptrice*), la région où il y a à la fois des traits pleins et des traits discontinus sera la région *mixte* (fig. 5).

Fig. 5.

19. — Construction du réseau de caractéristiques. — On commencera d'abord par tracer les caractéristiques à puissance génératrice (réceptrice) constante qui sont des droites équidistantes, dont on calculera facilement l'équidistance

$$D = \frac{P\sqrt{r^2+s^2}}{E_0} \qquad \mathcal{D} = \frac{\mathcal{P}\sqrt{r^2+s^2}}{\mathcal{E}_0}$$

en prenant pour P ($\mathcal{P}$) soit 100, soit 1 000 watts. Cela fait on dessinera un des cercles de puissance perdue, de préférence le plus grand possible. Supposons que ce cercle soit le cercle de 100 hectowatts. Ce cercle coupe les différentes droites de puissance génératrice (réceptrice) constante en des points appartenant aux cercles successifs de puissance réceptrice (génératrice) constante.

Ainsi le point situé sur la droite — 40 hectowatts appartiendra au cercle — 60 hectowatts, car en ce point on aura bien

$$(-40) + (-60) + 100 = 0.$$

Donc par tous les points de rencontre du cercle avec les droites, on tracera des cercles de centre C et on les numérotera en prenant la somme changée de signe du numéro du cercle et du numéro de la droite.

Reste à construire les autres cercles $p =$ etc. Il est facile de voir qu'ils passent par les points d'intersection des cercles $\mathfrak{P} = C^{te}$. ($P = C^{te}$.) et de la droite $P = o$ ($\mathfrak{P} = o$) et qu'ils portent les numéros des cercles changés de signe, ou encore par les points d'intersection des droites $P = C^{te}$. ($\mathfrak{P} = C^{te}$.) avec le cercle $\mathfrak{P} = o$ ($P = o$) et qu'ils prennent les numéros des droites changés de signe.

L'objet de cette étude étant de montrer l'existence remarquable de la dualité en électricité, nous n'entreprendrons pas de rechercher toutes les propriétés que l'on peut déduire de l'examen des caractéristiques bipolaires, ce qui a d'ailleurs été fait par d'autres plus autorisés que nous (1). On pourrait poursuivre encore cette étude parallèle de deux circuits, mais nous estimons que ce qui précède est suffisant pour montrer tout le parti que l'on peut tirer de la dualité électrique.

H. Sire de Vilar,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Alternateurs de la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques. — Brevet français n° 305 997, du 4 décembre 1900.

Il est souvent utile de diminuer le plus possible les imperfections que présente la courbe de tension d'un alternateur, lorsque les canalisations, les récepteurs ou les générateurs présentent de la capacité.

La Société Alsacienne propose à cet effet de disposer les éléments de l'induit ou de l'inducteur, ou de tous les deux, de manière qu'ils n'aient pas une position symétrique sur la circonférence.

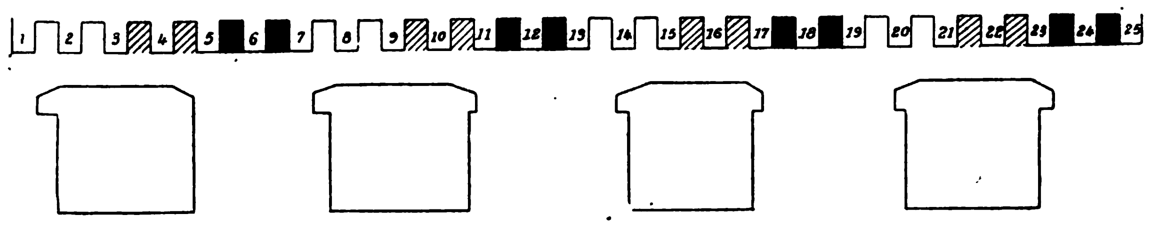


Fig. 1

On peut placer les inducteurs de façon que la distance angulaire des axes des épanouissements polaires ne soit pas la même pour tous les inducteurs. La figure 1 représente la moitié de l'induit, l'autre moitié est symétrique de la première.

Ou bien les cannelures de l'induit occupent

(1) Voir en particulier l'article récent de M. Blondel dans *L'Éclairage Électrique* du 22 juin sur la « théorie graphique des moteurs synchrones ».

des positions différentes par rapport à une division égale au nombre de pôles de l'inducteur (fig. 2).

Ces deux dispositifs peuvent d'ailleurs être combinés. On peut encore donner une forme inégale aux surfaces inductrices.

Dans les induits dentés, on peut incliner les rainures par rapport à l'axe, ou incliner les bords des surfaces polaires (fig. 3), ou bien donner aux extrémités des pièces polaires la forme d'une ligne brisée (fig. 4).

La Société revendique encore comme son invention l'emploi de surfaces polaires présentant un entrefer variable et l'emploi d'induits ayant un nombre d'entailles tel que les bobines induites présentent un décalage progressif par rapport aux pôles également divisés de l'inducteur.

A. Nunès.

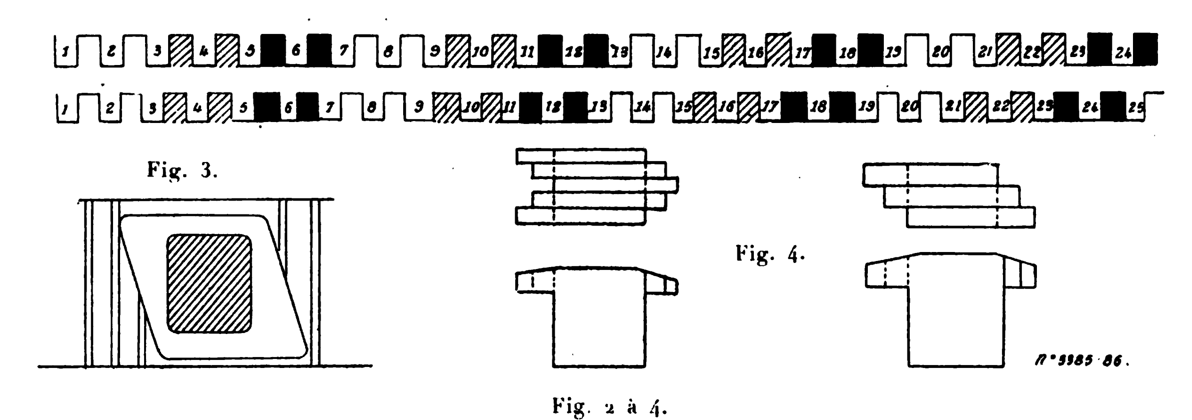


Fig. 2 à 4.

Machines à courants et mouvements alternatifs de la Société Boucherot et Cie. — Brevet français n° 306 985, du 9 janvier 1901.

Dans les machines actuelles, la direction du champ est toujours normale au déplacement des parties mobiles. Cependant, il y aurait tout intérêt à produire le déplacement dans le sens des lignes de force, car la force suivant cette direction est beaucoup plus grande que suivant la direction normale. Ainsi, pour un pôle de 1 dm^2 avec une induction de 10 000 gauss, la force normale du champ est d'environ 10 kg, tandis que la force parallèle au champ est de 400 kg.

L'avantage réalisé par les machines en question sera d'avoir des vitesses linéaires environ 40 fois plus faibles ; mais la puissance spécifique restera à peu près la même. Le mouvement sera alternatif. Les courants devront être alternatifs, à moins de recourir à des contacts intermittents :

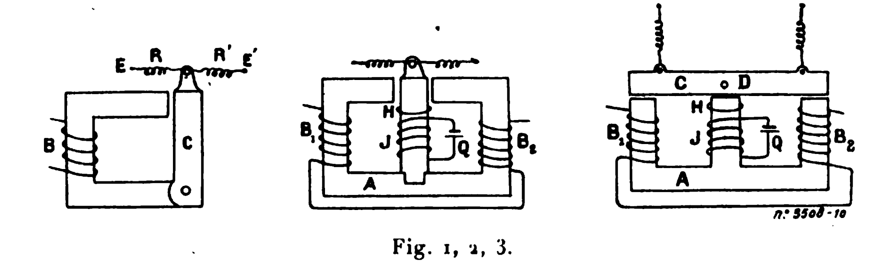


Fig. 1, 2, 3.

ainsi une sonnerie électrique n'est autre chose qu'un moteur imparfait à mouvement alternatif et à courant continu.

On peut imaginer une machine formée d'une culasse en tôle feuilletée, portant un enroulement B (fig. 1), dans lequel passe du courant alternatif. La partie mobile C, également feuilletée, oscille autour d'un axe D. Deux ressorts R, R' attachés à des points fixes E, E', donnent à la partie C une période d'oscillation naturelle, voisine de celle que doit lui communiquer le courant alternatif.

En réalité, on adoptera la disposition de la figure 2, qui n'absorbe pas de courant déwatté

et peut même en fournir au réseau qui l'alimente. La culasse A reçoit deux enroulements B_1 B_2. La partie mobile C a un enroulement J qui peut rester fixe, comme les oscillations sont de faible amplitude ; J est relié à une source faible de courant continu Q. On peut ajouter un circuit fermé H pour éviter les variations de flux dans cette partie mobile.

La bobine J produit un flux constant qui se dérive dans les deux branches de A en deux flux variables dont la somme est constante. Ces deux flux dérivés sont d'autant plus variables que l'amplitude des oscillations est plus grande ; c'est-à-dire que la force électromotrice produite dans les enroulements B_1 B_2 est proportionnelle à l'amplitude des oscillations de la partie mobile et réciproquement. Si cette force électromotrice est inférieure à celle placée aux bornes de B_1 B_2, l'appareil absorbe du courant déwatté ; si elle est supérieure, il en fournit au réseau.

Les enroulements H et J peuvent être sur la partie fixe (fig. 3).

Si on veut transformer le mouvement alternatif en mouvement circulaire continu, la partie mobile C porte deux cliquets, qui font avancer deux roues en sens contraire, ces deux roues munies d'engrenages coniques communiquent leur mouvement à une troisième roue, sur l'axe de laquelle on recueille le travail. Cette dernière roue peut être supprimée dans certains cas où il s'agit d'actionner deux axes, comme dans les tramways. Les cliquets peuvent être remplacés par des détentes à frottement ou à arc-boutement. Ces cliquets peuvent être élastiques de manière à donner à l'avancement toute la douceur voulue.

Les ressorts R, R' peuvent être d'un système quelconque ou même des ressorts à air ou à gaz. Ils peuvent agir sur une des extrémités de C ou sur l'axe D. Ils peuvent être constitués par l'axe D lui-même, ou par la pièce C elle-même encastrée dans la partie A.

Dans la transformation du mouvement circulaire en mouvement alternatif pour l'emploi comme générateur, on peut employer toutes les dispositions possibles, mouvements d'échappement, vis à pas inverses, bielles et manivelles, etc. Dans le cas de la machine à vapeur, on peut relier la partie mobile au piston.

L'amplitude des oscillations est proportionnelle à la force électromotrice aux bornes de l'appareil employé comme moteur, de même que la vitesse de rotation obtenue. La force électromotrice peut être variée au moyen d'un transformateur entre des limites très étendues, sans que le rendement soit affecté, et il en résulte que la consommation de ce moteur sur un réseau à potentiel constant peut être sensiblement proportionnelle à la vitesse.

En dehors de la production de courants wattés, l'appareil (fig. 2 et 3) a d'autres usages. 1° en le branchant en dérivation sur un réseau à potentiel constant, il peut fournir du courant déwatté, comme un moteur synchrone surexcité ou un condensateur.

2° Intercalé en série, il joue encore l'effet d'une capacité et produit dans ce circuit une force électromotrice proportionnelle au courant, en sens inverse des forces électromotrices de self-induction, et sert alors de survolteur et permet d'annuler la self-induction des lignes.

3° Il peut remplacer les condensateurs dans toutes leurs applications.

On peut, en plaçant au-dessus ou au-dessous des bobines B_1 B_2 d'autres bobines d'un nombre de spires différent, réaliser un transformateur,

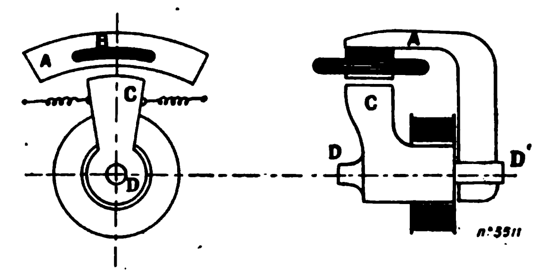


Fig. 4 et 5.

qui produit du courant déwatté, ou qui peut avoir un facteur de puissance égal à 1.

On peut encore construire des machines analogues dans lesquelles le déplacement est normal au champ et les vitesses sont beaucoup plus grandes.

La partie mobile C (fig. 4 et 5) oscille autour de l'axe D. On peut avoir une série de pièces C autour de cet axe ; la pièce A est alors de révolution.

Enfin, dans un autre dispositif (fig. 6), la partie mobile est constituée par une pièce de fer feuilleté munie de un ou plusieurs circuits S S' fermés sur eux-mêmes ou sur des résistances.

On peut aussi avoir des machines à déplace-

ment oblique et à vitesse intermédiaire. Avec le déplacement parallèle aux lignes de force, la vitesse linéaire atteint 0,5 à 1 m par seconde; avec le déplacement normal 20 à 30 m. La figure 7 montre une machine à déplacement oblique; en élevant l'axe D on augmente la vitesse, jusqu'à la position T de l'axe, qui correspond au déplacement normal.

Le courant continu peut être obtenu par un moyen quelconque, en particulier par l'addition

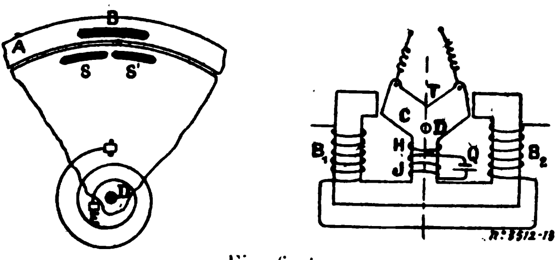


Fig. 6 et 7.

à l'appareil de contacts intermittents reliés à la partie mobile et permettant de redresser une petite partie du courant alternatif.

On peut réunir plusieurs de ces appareils pour les appliquer aux courants polyphasés.

On pourra remplacer la partie fixe par la partie mobile, ou rendre les deux parties mobiles.

Comme les oscillations sont très rapides il y a avantage à faire osciller la partie la plus légère et à l'alléger autant que possible.

A. Nunès.

Isochronisateurs différentiels de la maison Bréguet pour le couplage des dynamos compound en quantité. Brevet français n° 307 033, du 10 janvier 1901.

Dans les installations actuelles, la stabilité du couplage en quantité des dynamos compound est obtenue à l'aide d'un câble d'équilibre; l'action de ce câble a pour résultat de relever le voltage des dynamos dont la charge décroît, et d'abaisser celui des dynamos dont la charge croît.

Le fil d'équilibre doit avoir une très forte section.

L'emploi de l'isochronisateur Bréguet (décrit dans le brevet n° 294 851) permet de réduire cette section.

Si l'on suppose, comme l'indique le schéma, que l'électro de l'isochronisateur de chaque groupe électrogène soit pourvu d'une bobine supplémentaire B reliée, d'une part à un pôle de la dynamo, et d'autre part à un fil d'équilibre, l'effet de cette bobine s'ajoutera à l'effet des bobines principales AA' ou s'en retranchera, suivant que le courant la parcourra dans l'un ou l'autre sens, c'est-à-dire que la dynamo du groupe aura une tension plus ou moins élevée que la tension générale du réseau.

Dans ces conditions, l'action de l'isochronisateur sera renforcée ou diminuée et les régulateurs des moteurs tendront toujours, en corrigeant la vitesse des moteurs, à égaliser les forces électromotrices des dynamos. On sera donc arrivé au même résultat qu'avec le fil d'équilibre, mais en réduisant considérablement la section de celui-ci, qui n'aura plus à donner passage qu'à des courants de très faible intensité.

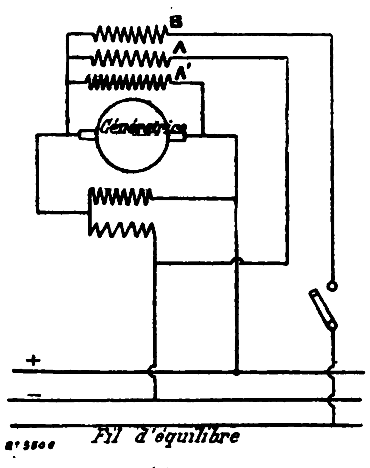


Fig. 1.

En outre, ce système a l'avantage de conserver leur indépendance aux champs des dynamos couplées, il n'altère par suite en aucune façon le fonctionnement des balais de ces dynamos.

Convertisseur rotatif Sautter-Harlé et Cie. Brevet français n° 307 021, du 10 janvier 1901.

La transformation des courants alternatifs en courants continus s'obtient à l'aide de convertisseurs rotatifs munis d'un collecteur et d'un nombre déterminé de bagues.

Il est très difficile, dans les machines ordinaires, d'éviter les étincelles au collecteur. On a souvent recours à deux machines séparées, un moteur à courants alternatifs commandant sur le même arbre une dynamo à courants continus; le poids et les dimensions de ce groupe

ne sont pas notablement plus grands que pour le convertisseur unique, qui doit être très largement calculé pour éviter les étincelles.

Le perfectionnement en question a pour but de réduire l'effet nuisible des étincelles au collecteur.

La machine est construite comme une dynamo ordinaire avec pôles radiaux fixés sur une une culasse F.

Le courant ordinaire est recueilli sur un collecteur B par des balais.

Le champ magnétique est constitué par quatre électros principaux C_1 C_2 C_3 C_4 munis de protubérances polaires, et portant un noyau massif ou feuilleté fixé sur la culasse F.

Le champ comprend encore quatre électros D_1, D_2, D_3, D_4 placés dans les intervalles; ils sont munis de noyaux massifs ou feuilletés dont les extrémités ne sont pas épanouies.

Les électros sont excités par le courant provenant de l'armature.

Les électros complémentaires D_1 D_2 D_3 D_4 sont en série avec l'armature. Le courant arrive par les balais b_1 b_2 b_3 b_4 réunis deux à deux, b_1 avec b_2 et

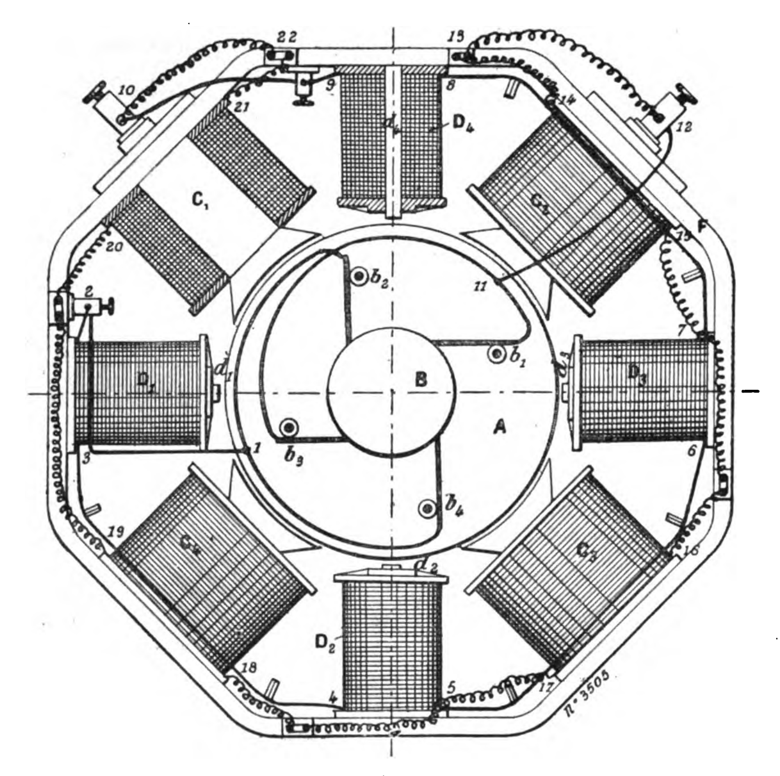


Fig. 1. — Convertisseur Sautter-Harlé.

b_3 avec b_4. Le courant venant de b_2 b_4 pass e pr 1,2 et sort de D_1 au point 3, il suit alors le trajet 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10 où vient se connecter le circuit extérieur. L'autre pôle du circuit aboutit à la borne 12 et de là par 11 aux balais b_1 b_3.

Les électros principaux C_1 C_2 C_3 C_4 sont excités en dérivation. Le circuit part de la borne 12 traverse C_2 par 13, 14 et 15, et les autres enroulements par 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 pour aboutir à la borne 10.

L'effet des électros complémentaires est de créer un champ qui se superpose au champ principal et permet d'effectuer la commutation au collecteur sans étincelles.

Cette disposition, déjà appliquée aux dynamos, permet la construction de convertisseurs ayant un très petit entrefer, et dans des conditions où les étincelles rendraient la marche des appareils ordinaires tout à fait impraticable. L'effet nuisible des étincelles est proportionnel au courant, et l'effet compensateur des électros D est aussi proportionnel à ce courant, puisqu'ils sont en série avec l'armature. L'expérience montre que la compensation est très efficace. Quand le con-

vertisseur ne débite pas de courant continu, les étincelles sont sans importance et les électros D ne fonctionnent pas.

La réduction de l'entrefer permet d'obtenir une grande réaction de l'armature sur le champ magnétique, et par suite d'excellentes conditions pour la régularisation du voltage aux bornes. L'effet utile de l'appareil se trouve beaucoup augmenté. Le démarrage est également facilité par la faiblesse de l'entrefer.

Ce dispositif s'applique aux courants monophasés aussi bien qu'aux courants polyphasés.

A. Nunès.

Sur les génératrices asynchrones, par **O.-M. Corbino**. *Il Nuovo Cimento*, t. I, p. 178, mars 1901.

On considère un moteur asynchrone à champ tournant, par exemple bipolaire diphasé.

Soient ω et ω' les vitesses angulaires du champ inducteur tournant et de l'induit. On suppose que l'induit tourne à une vitesse peu supérieure au synchronisme et que le système travaille à potentiel constant; on négligera les fuites magnétiques dans l'entrefer.

Soit

$$X = \Phi_0 \sin \omega t$$

la composante horizontale du flux tournant Φ_0 due aux deux bobines opposées parcourues par le courant I; on a $I = K\,\Phi_0 \sin \omega t$ où K est une constante dépendant de la réluctance du circuit magnétique dans lequel se produit le flux Φ_0 et du nombre de spires de la bobine.

Φ_1 flux résultant de la composition de Φ_0 avec le flux propre de l'induit, tourne avec une vitesse ω, en retard de θ sur Φ_0.

$$\mathrm{tg}\theta = \frac{L(\omega - \omega')}{R}$$

R et L étant la résistance et la self-induction de l'induit.

Soit X_1 la composante horizontale de Φ_1 et e_1 la différence de potentiel aux pôles des bobines considérées plus haut En négligeant dans une première approximation la chute de potentiel ohmique par rapport aux forces électromotrices de self-induction, on a :

$$e_1 = k'\frac{dX_1}{dt}$$

mais

$$X_1 = \Phi_1 \sin(\omega t - \theta)$$

d'où

$$e_1 = k'\omega\Phi_1 \cos(\omega t - \theta)$$

et comme

$$\Phi_1 = \Phi_0 \cos\theta,$$

on a

$$e_1 = k'\omega\Phi_0 \cos\theta \sin\left[\omega t - \left(\frac{3\pi}{2} + \theta\right)\right]$$

C'est-à-dire que e_1 est en retard de $\frac{2\pi}{2} + \theta$ par rapport à l'intensité I; désignons ce retard par φ, la puissance fournie par le réseau dans les bobines est

$$P = I_{eff}\, e_{1eff} \cos\varphi$$

d'où

$$P = \frac{kk'}{2}\Phi^2_0 \omega \cos\theta \cos\left(\frac{3\pi}{2} + \theta\right).$$

Lorsque ω' croît et devient supérieur à ω, $\mathrm{tg}\,\theta$ et par suite θ changent de signe. Ainsi quand θ est positif, c'est-à-dire $\omega' < \omega$, $\cos\left(\frac{3\pi}{2} + \theta\right)$ est positif et par suite aussi P. Au contraire, si $\omega' > \omega$, θ devient aussi $\cos\left(\frac{3\pi}{2} - \theta\right)$. Le cosinus de la différence de phase entre e_1 et I changeant de signe, la puissance dépensée devient négative, c'est-à-dire que le moteur devient générateur.

L'auteur termine en exposant un diagramme qui permet d'arriver rapidement à cette conclusion.

G.

Représentation stéréométrique des potentiels dans les circuits parcourus par des courants triphasés, par **O.-M. Corbino**. *Il Nuovo Cimento*, t. I, p. 182, mars 1901.

Considérons un récepteur triphasé monté en triangle et supposons les conducteurs sans induction mutuelle et de telle nature qu'à chaque instant il y ait une chute constante de potentiel pour des longueurs égales de conducteurs. Soit l la longueur du conducteur interposé entre deux sommets A et B du triangle, v_x la valeur instantanée du potentiel en un point à une distance x de A sur ce conducteur.

Si V désigne la valeur maxima, on a

$$v''_x = V_x \cos(\omega t - \alpha)$$

avec

$$V^2_x = \frac{E^2}{l^2}(3x^2 - 3lx + l^2)$$

et

$$\text{tg}\,\alpha = \frac{x\sqrt{3}}{2l - 3x}$$

où $\sqrt{3}$ E représente la différence de potentiel entre sommets.

La courbe qui représente V_x en fonction de x est une hyperbole ; on voit que la valeur minima de V_x est $\frac{E}{2}$.

Aux divers points de AB le potentiel varie sinusoïdalement de telle sorte que les valeurs maxima sont représentées par les ordonnées d'une hyperbole variant depuis E aux extrémités, jusqu'à $\frac{E}{2}$, au milieu.

L'expression de tg α montre que les phases sont différentes aux différents points, de sorte que les valeurs maxima sont atteintes à des époques différentes, comme s'il se propageait des ondes progressives de potentiel.

Ces propriétés peuvent se déduire immédiatement de la représentation stéréométrique suivante :

On rectifie le conducteur interposé entre A et B et on lui mène des segments normaux en chaque point et proportionnels à la valeur maxima correspondante du potentiel ; ces segments forment en outre, avec le premier, des angles égaux aux valeurs correspondantes de α. La courbe qui passe par les extrémités de ces segments se projette suivant une droite sur un plan parallèle à la droite représentative du segment AB.

La rotation de cette droite autour de AB donne un hyperboloïde dont la section par un plan passant par AB donne les valeurs maxima des potentiels aux différents points.

Dans l'instant où la projection de la droite est parallèle à AB, tous les points du conducteur sont au même potentiel, et ce potentiel n'est pas nul.

On déduit de là une différence nette entre un des trois circuits triphasés et un circuit monophasé.

En appliquant à ce dernier le même mode de représentation, on obtient au lieu de la courbe précédente dans l'espace une droite qui rencontre AB.

Ainsi pour un circuit à courant monophasé, la phase est la même aux différents points (dans les conditions énoncées au début) et au milieu le potentiel est toujours nul. On peut comparer cette disposition à celle d'une onde stationnaire présentant deux nœuds aux extrémités et un ventre au centre.

Tandis qu'au point de vue des actions magnétiques et thermiques, on ne peut distiguer un circuit monophasé, de l'un des côtés d'un circuit triphasé ; au point de vue de la distribution des potentiels on a dans le premier cas une onde stationnaire et dans le second une onde progressive. G. G.

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

Du rôle des antennes dans la télégraphie sans fil, par **A. Turpain**. Extrait d'un ouvrage récent publié par la librairie Naud.

Plusieurs explications du rôle de l'antenne en télégraphie sans fil ont été proposées ; les unes font intervenir la conductibilité du sol ou des couches atmosphériques, d'autres sont basées sur la considération des lignes de force.

Nous allons tout d'abord résumer les faits d'observation relatifs aux antennes et indiquer les conditions qui influent sur la portée des ondes. Nous passerons ensuite rapidement en revue les diverses explications du rôle des antennes qui ont été proposées et nous indiquerons comment elles rendent compte des faits observés.

Observations relatives aux antennes. — *Nécessité de l'antenne.* — La nécessité de l'antenne, tant dans le dispositif de transmission que dans celui de réception, est un des faits les plus conscontants d'observation. Il est pratiquement impossible de réaliser, à une distance notable, des transmissions par les procédés de la télégraphie hertzienne sans fil, si l'on n'a pas disposé aux deux postes transmetteur et récepteur des antennes plus ou moins longues. L'entretien d'un excitateur d'ondes électriques non muni d'antenne est insuffisant, quelque puissant qu'il soit, pour influencer un radio-conducteur disposé à une grande distance. De même, un radiateur ne sera sensible aux ondes émises par un excitateur éloigné, qu'autant qu'il sera réuni à une antenne réceptrice.



Longueur de l'antenne. — La portée des ondes semble d'autant plus grande que l'antenne est plus longue. On a indiqué, à ce sujet, sous le nom de *loi des antennes* des relations, d'ailleurs empiriques, qui manquent de généralité.

Lois des antennes de M. Marconi. — M. Marconi a indiqué que, toutes choses égales d'ailleurs, la portée maximum est atteinte si la hauteur h_t de l'antenne de transmission est égale à la hauteur h_r de celle de réception.

$$h_t = h_r = H.$$

La portée des ondes est proportionnelle au carré de la hauteur commune H des antennes.

$$D = k\,H^2.$$

Cette formule est applicable jusqu'à 40 km, en prenant $k = 44{,}44$. A partir de 40 km, les hauteurs ainsi déterminées sont trop faibles. L'interposition d'obstacles réduirait d'environ un tiers la distance calculée par cette formule.

Lois des antennes de M. Blondel. — Cette dernière relation est approximativement vérifiée par des expériences de M. Blondel, dont voici quelques résultats : pour communiquer à 3 km, il a fallu des antennes de 12 m ; 18 m d'antennes ont permis de franchir 9,500 km et 24 m ont été nécessaires pour atteindre 13,500 km. Si l'on donne au coefficient k la valeur 24,5, la formule précédente résume ces mesures.

Quant à l'égalité de hauteur des deux antennes, elle n'influe que très peu sur la portée des ondes. Il suffit que la somme des hauteurs des antennes de transmission et de réception reste constante ; la hauteur de chaque antenne peut varier sans que la portée des ondes soit diminuée, pourvu que cette hauteur reste supérieure à une limite λ qui, dans les expériences de M. Blondel, est de 5 à 10 m.

Les formules

$$h_t + h_r = 2\,H \qquad h_t > \lambda < h_r.$$
$$D = k\,H^2.$$

résument donc les observations de M. Blondel.

Direction de l'antenne. — Dans la plupart des dispositifs de télégraphie sans fil, on dispose l'antenne verticalement et il semble que ce soit là une condition nécessaire de bon fonctionnement et de longue portée. Il faut cependant signaler l'observation de M. Tissot [1], d'après laquelle il n'est pas indispensable de disposer les antennes verticalement ; il suffit qu'elles soient dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation. Plus récemment, M. Tissot a constaté que l'inclinaison de l'antenne sur la verticale n'a pas d'influence marquée sur la portée des ondes, tant que cette inclinaison ne dépasse pas 40°. Il en est de même du plan vertical qui contient l'antenne ; il peut être incliné de 40° sur la direction de propagation des ondes sans que la portée de ces dernières en soit diminuée. Toutefois, lorsque l'inclinaison des antennes sur la verticale est notable, il est préférable qu'elles soient parallèles et que les plans verticaux qui les contiennent soient normaux à la direction de propagation.

Communication de l'antenne avec la terre. — La mise en relation des antennes avec la terre augmente dans de très grandes proportions la portée des signaux. C'est là un fait généralement observé. Il est indispensable que la communication avec le sol soit établie avec beaucoup de soin. D'après M. Tissot, le fil de terre doit être très peu résistant et doit présenter une self-induction négligeable. — Au cours de certaines expériences de M. Tissot, le poste transmetteur étant disposé sur un rocher, on dut, pour assurer une bonne transmission, relier l'antenne à la mer par un fil conducteur. On obviait ainsi au défaut de conductibilité du sol.

Il y a lieu, à ce propos, de rappeler les expériences de télégraphie sans fil réalisées par MM. Lecarme entre le sol et un ballon muni d'une antenne de réception. Dans ces expériences, l'antenne réceptrice ne pouvait être reliée au sol. Il est vrai que les signaux cessèrent d'être perçus lorsque la distance excéda 8 km, alors que dans les expériences de M. Tissot, la portée des ondes dépassait parfois 80 km. Il faudrait vérifier si cette mise en communication de l'antenne avec le sol est aussi nécessaire, ou tout au moins aussi utile, pour l'antenne de réception que pour l'antenne de transmission. Il eût été également intéressant d'être renseigné sur la portée qu'auraient atteintes des

[1] Tissot. (*Société française de Physique*, 17 mars 1899). *Écl. Élect.*, t. XVIII, p. 467, 25 mars 1899.

ondes émises par l'antenne du ballon et de savoir si cette portée eut été la même que celle (8 km) observée pour les ondes reçues par le ballon.

Isolement des antennes. — Il est utile que l'antenne de transmission soit très soigneusement isolée de ses supports et tendue le plus loin possible du mât qui permet de la dresser verticalement (expériences de M. Marconi). Il est même bon d'entourer l'antenne d'un revêtement isolant, d'un guipage de caoutchouc, par exemple. Les mêmes précautions ne sont pas applicables à une antenne qui ne doit servir que pour la réception des ondes. C'est ainsi que M. Tissot a pu, dès le mois de mai 1900 utiliser le conducteur d'un paratonnerre comme antenne de réception.

Nature, forme et capacité de l'antenne. — La nature et la forme de l'antenne influent très peu sur la portée des ondes émises. Que l'antenne soit constituée par un fil de faible diamètre (fil nu de 1 mm, fils couverts de 0,4 à 0,09 mm), par un fil de fort diamètre, voire même par une bande de clinquant ou par un treillis métallique, la portée des ondes n'en est pas augmentée, d'après M. Blondel. Il en est de même pour la capacité. On munit souvent l'extrémité libre des antennes de plaques ou de sphères. Ces capacités ne semblent avoir aucune influence sur la portée des ondes. M. Blondel a observé, à ce propos, qu'en remplaçant l'antenne par deux disques horizontaux dont l'un était placé sur le sol et qui constituaient une capacité notable, on obtenait de très médiocres résultats.

Toutefois, pour les transmissions à longue distance, il est préférable, d'après M. Tissot, de réduire la self-induction de l'antenne et d'en augmenter la capacité.

En résumé, les seuls éléments importants relativement à la portée qu'une antenne donne aux ondes qu'elle émet consistent dans une *grande hauteur*, une *direction verticale* ou tout au moins normale à la droite qui joint les deux postes, et enfin dans la *mise en communication avec la terre*.

Diverses explications du rôle de l'antenne. — *Première explication.* — On a tout d'abord cru pouvoir expliquer le rôle des antennes en supposant que la transmission s'effectuait par ondes libres au sein de l'air d'une antenne à l'autre.

On n'explique pas ainsi la nécessité des antennes et l'impossibilité qu'il y a à les remplacer par un oscillateur, quelque puissance qu'on lui donne et quelque grande que soit la capacité du condensateur qui le constitue.

Explication basée sur la conduction du sol. — Tenant compte de la grande portée que donne aux ondes la mise en communication de l'antenne de réception avec la terre, on a pensé que les ondes étaient concentrées par la surface même du sol jouant le rôle de conducteur, et qu'elles se propageaient de l'un à l'autre poste par son intermédiaire.

Certaines expériences de M. Voisenat, de M. Tissot, semblent confirmer cette manière de voir. On rapporte ainsi au fait de la meilleure conductibilité de l'eau de mer le succès des expériences de télégraphie sans fil entre postes établis sur les côtes.

M. Villot [1] a pensé même qu'en choisissant convenablement les prises de terre des antennes, on pouvait augmenter notablement la portée des ondes. Il propose à cet effet d'établir les postes transmetteur et récepteur de telle sorte que la terre de chacun d'eux soit empruntée à une même couche géologique.

Si l'on fait jouer un rôle prépondérant à la communication des antennes avec la terre et à la conductibilité du sol, on ne comprend pas la nécessité de la hauteur et de la verticalité des antennes. Il semble que leur suppression et leur remplacement par une capacité ne doivent pas diminuer la portée des ondes. Or, on constate, au contraire, que si la portée est de beaucoup augmentée par la mise en communication de l'antenne avec la terre, elle se trouve considérablement réduite dès qu'on diminue ou qu'on supprime l'antenne. L'utilité d'une longue antenne demeure donc bien démontrée.

Explication basée sur la conductibilité de l'air. — M. Blochmann [2] fait jouer aux surfaces équipotentielles de l'atmosphère le rôle prépondérant dans la propagation des ondes d'une antenne à l'autre. Au lieu de considérer, à l'instar de M. Villot, les couches géologiques du sol, il

(1) Villot. Congrès international d'électricité. *Éclairage Électrique*, 29 septembre 1900).

(2) Rudolf Blochmann. Une nouvelle théorie de la télégraphie dite sans fil. *Écl. Élect.*, t. XXVI, p. 306; 1901.

croit pouvoir expliquer le phénomène en faisant jouer un rôle analogue aux couches atmosphériques. — On comprend alors très bien la nécessité de l'antenne, mais on explique mal l'importance de la mise en communication de l'antenne avec le sol.

Il en est de même de l'explication de M. Della Riccia qui rapporte les facilités de communications entre postes situés sur les côtes à une réflexion des ondes hertziennes à la surface de l'eau, réflexion rendue plus efficace par une polarisation préalable des ondes produite par l'antenne verticale.

On pourrait peut-être associer les explications basées sur la conductibilité du sol et sur celle de l'air et supposer que la concentration des ondes se fait de l'un des postes à l'autre à la fois par les couches géologiques et par les surfaces équipotentielles atmosphériques. On expliquerait ainsi la nécessité, pour une longue portée des ondes, et d'une longue antenne et d'une communication avec la terre.

Le champ hertzien produit par l'excitateur des ondes se trouverait ainsi concentré du poste transmetteur au poste récepteur par les deux couches conductrices considérées. Toutefois, il nous semble que toutes ces explications sont un peu du domaine de l'imagination et plus ingénieuses que plausibles. Il est à remarquer d'ailleurs que, d'après ces dernières manières de voir, les phénomènes d'électricité atmosphérique devraient avoir une très notable influence sur la propagation des ondes. Or, il a été constaté, au cours des expériences faites à Wimereux par M. Marconi, qu'un jour d'orage, il était possible de tirer de l'antenne, isolée des appareils et jouant alors le rôle d'un paratonnerre, de fortes étincelles; mais, aussitôt que l'antenne était reliée aux appareils, la réception ne présentait aucun trouble et était aussi nette qu'en temps ordinaire. Le fait a été rapporté et contrôlé par M. Ferrié. Il y a lieu de remarquer, cependant, qu'aucun coup de foudre n'a été observé dans le voisinage du poste. M. Tissot a d'ailleurs fait des constatations analogues.

Explications basées sur la considération des lignes de force. — M. Broca (¹) considère le flux d'énergie propagée par le fil de l'antenne. Se basant sur ce que « le courant électrique est dirigé suivant la génératrice du fil, la force électrique est normale au conducteur, la force magnétique lui est tangente », M. Broca en déduit que « le flux d'énergie calculable par le théorème de Poynting est dirigé perpendiculairement aux deux forces électriques et magnétiques et par conséquent se propage le long du fil ». — « Tout se passera ainsi jusqu'au bout du fil, où se produira ce qui est connu sous le nom de perturbation à l'extrémité du fil. Les lignes de courant seront toutes parallèles à l'axe du conducteur, et le flux de Poynting leur sera toujours parallèle. Au sommet du fil, la force électrique sera toujours normale au conducteur. La force magnétique sera indéterminée. Il y aura donc un flux d'énergie dans un plan normal à la force électrique. » Au sommet, le flux d'énergie se disperse donc suivant une nappe horizontale.

Sans vouloir entrer dans la critique de cette théorie et discuter la légitimité du raisonnement relatif à la perturbation aux extrémités d'un conducteur qui concentre des ondes électriques dans son application au cas pratique actuel d'une antenne, nous ferons remarquer que toute déformation de cette extrémité devrait avoir un effet notable sur la direction de la propagation, par suite sur la portée des ondes. Or, le fait de munir l'extrémité de l'antenne de larges plaques, ou bien encore de recourber cette extrémité en spirale ou de lui donner une direction horizontale n'influe en rien sur la portée des ondes, à tel point que ces divers accessoires, tout d'abord employés dans les expériences de télégraphie sans fil, sont aujourd'hui presque complètement abandonnées, notamment par M. Tissot.

M. Blondel (¹) a également donné une explication du rôle de l'antenne, basée sur la considération des lignes de force. M. Blondel part de l'hypothèse que la capacité de l'antenne d'émission par rapport à la terre détermine la longueur d'onde des oscillations.

« Le rôle de l'antenne est double :

« 1° Elle règle l'intensité du centre d'ébranlement en augmentant par sa longueur le volume

(¹) A. Broca. Sur le rôle de l'antenne dans la télégraphie sans fil. *Écl. Élect.*, t. XVI, p. 318, 20 août 1898.

(¹) Blondel. Sur la théorie des antennes dans la télégraphie sans fil. *Écl. Élect.*, t. XVI, p. 316, 28 août 1898.



d'éther ébranlé par l'oscillateur. Les lignes de force électrique, se déplaçant avec la même rapidité dans l'air et le long des fils, et aboutissant toujours normalement aux conducteurs, suivant des propriétés connues des oscillations électriques, doivent avoir ici la forme de nappes demi-sphériques, divergeant des divers points de l'antenne pour aboutir normalement au sol conducteur, comme des baleines de parapluie, autour de l'oscillateur comme centre. A chaque décharge, elles brassent l'éther environnant comme des demi-sphères pulsantes de Bjerkness. Plus l'antenne est haute, plus la sphère pulsante est grande, plus le volume d'éther ébranlé est considérable, plus le centre d'ébranlement produit d'effets sensibles à grande distance. »

« 2° L'antenne dirige l'action des ondes produites par l'ébranlement, en orientant leurs lignes de force magnétique, de la façon la plus favorable pour impressionner le cohéreur. En effet, ces lignes sont distribuées suivant des cercles horizontaux, concentriques à l'antenne et qui se propagent en se dilatant horizontalement. »

L'influence du sol, considéré comme surface conductrice, aurait pour effet de concentrer ces lignes de forces magnétiques qui seraient beaucoup plus nombreuses au voisinage du sol.

« Plus l'antenne de réception est longue, plus elle coupe de lignes magnétiques; à égale longueur, elle en coupe d'autant moins qu'on l'écarte davantage du sol, autrement dit, la portée est donc plus grande à la surface du sol qu'à une certaine distance. »

Cette dernière conclusion est en désaccord avec les résultats obtenus par M. Tissot, relativement à la portée des antennes. Le tableau suivant résume la moyenne de nombreuses expériences.

Longueur de l'antenne à chaque poste.	Distance de transmission.	Distance franchie par mètre d'antenne.
m	km	km
12	1,8	0,150
20	4,5	0,225
25	7,5	0,300
30	13,5	0,450
35	22	0,620
45	40	0,880

D'après l'explication de M. Blondel, les nombres de la dernière colonne devraient, il semble, décroître avec la hauteur de l'antenne.

On devrait également trouver un avantage à disposer, tant au poste d'émission qu'au poste de réception, des antennes très grosses formées de bandes. Des antennes courtes, mais nombreuses, devraient être préférées à une seule antenne très haute. En second lieu, l'adjonction de capacité, soit à l'extrémité élevée de l'antenne, soit au voisinage du sol, devrait augmenter la portée des ondes. Or, l'expérience montre que ces diverses modifications dans la forme de l'antenne sont sans effet sur la portée des ondes. La réduction de la hauteur de l'antenne, quelle que soit l'augmentation de sa capacité, est toujours suivie d'une réduction de la portée des ondes.

Conclusions. — En résumé, toutes ces explications, tant celles qui font intervenir la conductibilité de l'air ou du sol que celles qui, cherchant à pénétrer plus avant le phénomène, appellent à leur aide la considération des lignes de force, se montrent impuissantes à rendre compte, d'une manière complète, du rôle de l'antenne, à expliquer l'importance de sa hauteur et de samise en communication avec le sol. — Les dernières aboutissent à donner à la capacité de l'antenne une importance que l'observation ne ratifie pas.

Moins heureuses que les explications relatives au fonctionnement du cohéreur [1], les explications que nous venons de passer en revue, n'ont pas eu pour effet d'inspirer l'expérience et de lui indiquer un heureux perfectionnement de l'antenne, ni même de l'amener, au cours de vérifications, à découvrir un moyen d'augmenter la portée des ondes. En ce qui concerne l'antenne et les conditions qui influent sur la portée des ondes, nous ne sommes pas plus avancés que lors des premiers essais de télégraphie sans fil. Nous ne connaissons qu'un moyen d'augmenter la portée des ondes, c'est d'augmenter la hauteur de l'antenne.

Il nous semble que les explications du rôle de l'antenne sont encore plus prématurées que celles relatives au fonctionnement du cohéreur. La théorie manque, en effet, de faits d'observation systématiquement étudiés. L'analyse expérimentale de l'antenne n'a pas été faite. Certaines expériences récentes de M. Tissot comblent, il est vrai, en partie, ces lacunes, mais il serait peut-être bon d'attendre des renseignements expérimentaux plus complets avant de tenter une explication théorique. A. TURPAIN.

[1] TURPAIN. *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 56; 1901.

Contribution à l'étude des cohéreurs, par **K.-E. Guthe.** *Dr. Ann.*, t, IV, p. 762-776, avril 1901.

D'après Bose, le phénomène du cohéreur serait dû à l'existence de deux modifications allotropiques des métaux [1]. De ces deux modifications, l'une a une grande résistance spécifique, l'autre une faible résistance : l'une ou l'autre peut correspondre à l'état normal du métal. Les ondes électriques provoquent le passage du métal de l'état normal à l'autre, ce qui entraîne suivant la nature du métal, une diminution ou un accroissement de résistance (cohéreur ou anticohéreur).

La transformation ne serait que superficielle, et c'est pour cette raison, selon Bose, que les cohéreurs à poudre métallique sont plus sensibles. Guthe oppose à cette théorie plusieurs faits d'observation. Les expériences de Branly, de Guthe et Trowbridge ont montré que les cohéreurs formés par des plaques ou des boules de métal pouvaient être très sensibles, celles de Mïzuno, que les contacts de potassium forment aussi des cohéreurs et non pas seulement des anticohéreurs ainsi que l'affirme Bose.

Guthe décrit des expériences nouvelles effectuées avec un cohéreur à contact unique, formé par deux calottes sphériques se touchant à leur sommet. Les métaux qu'il a employés sont : l'argent, le cuivre, le zinc, l'aluminium, le cadmium, l'étain, le fer, le maillechort, le nickel et le bismuth.

Avec tous ces métaux on peut, dans des conditions convenables, obtenir l'augmentation de résistance (phénomène de l'anticohéreur). On observe les oscillations de résistance signalées par Bose. L'allure de ce phénomène est telle qu'il semble dû à la présence d'une très petite particule de métal entre les deux surfaces de contact. Les excitations très fortes chassent cette particule et provoquent ainsi une augmentation de résistance : les excitations plus faibles provoquent seulement la diminution : c'est le phénomène ordinaire du cohéreur.

Lorsqu'on a observé le phénomène de l'anticohéreur et qu'on presse davantage les calottes l'une contre l'autre, on obtient seulement une légère diminution de résistance. Si l'appareil fonctionne comme cohéreur, une augmentation de la pression réduit, au contraire, la résistance à une valeur pratiquement nulle.

La différence de potentiel critique est indépendante du rayon de courbure des surfaces en contact. Dans les cohéreurs formés d'un seul métal, elle paraît être en relation avec le poids atomique du métal. Le produit de la différence de potentiel critique par le poids atomique est constante dans certains groupes de métaux et le produit dans chaque groupe est proportionnel à un facteur simple, comme le montre le tableau ci-dessous :

Ag	Cu	Zn	Al
6,71	5,96	6,18	6,39
	1		

Cd	Sn	Fe	Ni	Bi	Pb
12,22	11,22	12,43	11,93	39,06	26,28
	2			6	4

Lorsque le cohéreur est formé de deux métaux différents, la direction du courant n'a pas d'influence sur la différence de potentiel critique, sauf quand l'un des métaux est le bismuth, le nickel, le fer ou l'étain.

Il n'y a pas de polarisation des électrodes, car si on mesure la résistance du cohéreur au moyen des courants alternatifs et du téléphone, cette résistance se comporte exactement comme une résistance métallique.

Guthe a étudié aussi l'influence d'une élévation de température sur la résistance du cohéreur par la méthode suivante : le cohéreur était formé par deux fils du même métal perpendiculaires l'une à l'autre. Dans l'un de ces fils, il faisait passer un courant assez intense pour en élever la température d'une manière notable. Toutes choses égales d'ailleurs la résistance du cohéreur est d'autant plus faible que cette élévation de température est plus grande; elle reprend sa valeur primitive dès que cette élévation de température est supprimée.

Si un cohéreur est formé d'un gros fil d'une part, d'autre part d'un fil assez fin pour qu'il puisse être échauffé d'une manière sensible par le passage du courant, le sens du courant influe sur la résistance du cohéreur. Ceci explique pourquoi le sens du courant influe sur la résistance d'un cohéreur dont l'un des pôles est en bismuth : le bismuth conduisant mal la chaleur, s'échauffe plus que l'autre métal.

D'après diverses observations, le phénomène

[1] *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. CXXIV, 1901.

du cohéreur, au moins dans les premiers instants, paraît être un phénomène calorifique. Au moment de l'action des ondes électriques, le cohéréur est traversé par un courant, très faible il est vrai; mais le contact étant de très petite surface, ce courant suffit à l'échauffer et à diminuer ainsi la résistance. Il resterait à expliquer la permanence de cette diminution.

M. L.

Perfectionnements dans les connexions des appareils de la télégraphie sans fil, par **Ch. Ed. Wilson.** Brevet anglais n° 10312 du 5 juin 1900, accepté le 20 octobre 1900.

Les dispositifs décritsdans ce brevet ont pour effet d'accroître la portée des ondes produites au moyen d'une bobine d'induction donnée. L'auteur part de l'hypothèse que plus la bobine d'induction utilisée est éloignée du sol, plus puissantes sont les ondes produites et plus longue est leur portée. Il préconise donc de placer la bobine d'induction dans la nacelle d'un ballon porte-antenne.

Les figures 1 et 2 donnent une vue de l'ensemble de deux stations dans chacune desquelles la bobine est soustraite aux influences dues au voisinage du sol. — Deux ballons captifs A, A (auxquels on peut d'ailleurs substituer des cerfs-volants de construction convenable) portent dans leurs nacelles A′, A′ les bobines d'induction. B est

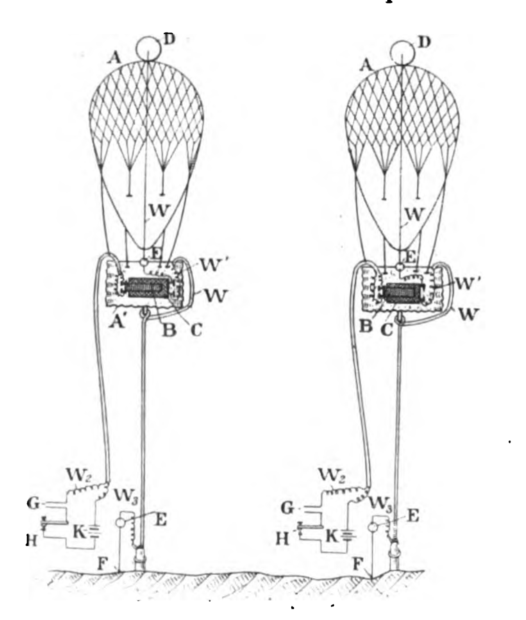


Fig. 1 et 2.— Système Wilson. Ensemble de deux stations.

l'enroulement primaire, C, l'enroulement secondaire. L'une des extrémités de l'enroulement secondaire est reliée par l'intermédiaire d'un tube à vide E, avec une sphère conductrice D située au sommet du ballon. La seconde extrémité de l'enroulement secondaire est mis en communication par le fil W′, qui suit le câble d'attache du ballon, avec la terre F par l'intermédiaire d'un tube vide E. Le câble d'attache et le fil W′ doivent être isolés l'un de l'autre sur toute leur longueur. Les extrémités de l'enroulement primaire B sont reliées par les deux fils W_2 et W_3 avec une batterie K, une clef Morse H et un interrupteur G. Les fils W_2 et W_3 doivent être isolés l'un de l'autre et aussi éloignés que possible du fil W′.

La figure 3 représente un dispositif analogue dans lequel on emploie deux bobines

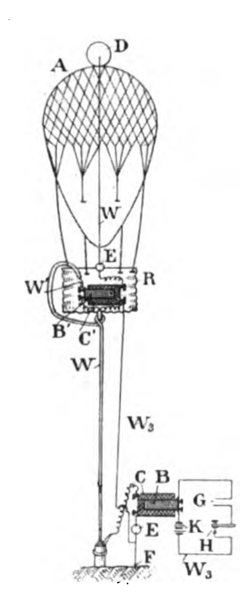


Fig. 3. — Système Wilson. Emploi de deux bobines d'induction.

l'une B′ C′ dans la nacelle du ballon, l'autre B C au voisinage du sol. La bobine située dans la nacelle a son enroulement secondaire C′ en communication d'une part avec la sphère D par l'intermédiaire du tube à vide E, d'autre part par le fil W_3 avec le sol en F. L'enroulement primaire B′ a l'une de ses extrémités reliée au pôle du secondaire qui communique, par le fil W_2, à la terre; l'autre extrémité est mise en communication par un fil W′ avec l'un des pôles du secon-

daire C de la bobine située sur le sol. Le second pôle du secondaire de cette seconde bobine est relié à la terre F par l'intermédiaire d'un tube à vide E. L'enroulement primaire de cette seconde bobine fait partie d'un circuit compre-

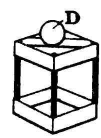


Fig. 4. — Système Wilson. Carcasse légère pour cerf volant.

nant une batterie K, une clef Morse H et un interrupteur G.

La figure 4 représente une sorte de carcasse légère de cerf-volant permettant de porter la boule D.

DIVERS

Contribution à la théorie de l'induction magnétique dans le fer et autres métaux, par **John Buchanan**. *Philosophical Magazine,* [VI], t. I, p. 330, mars 1901.

Pour les personnes qui connaissent les mémoires classiques de Fourier sur la dissipation de la chaleur, l'examen des courbes données par M. Ewing dans ses recherches classiques sur l'induction magnétique ne reste pas sans leur suggérer un rapprochement entre ces courbes et celles qui représentent la variation de certaines fonctions étudiées par Fourier dans le mémoire que nous venons de rappeler. On sait, en outre, que les problèmes de magnétisme peuvent être transformés en problèmes d'électricité et en problèmes de chaleur (Maxwell, *Electr. and Magn.*, t. II, p. 428 et 599).

L'auteur du présent mémoire se propose de montrer que des solutions d'une équation de la forme de l'équation aux dérivées partielles de Fourier,

$$\frac{dv}{dt} = k\frac{d^2v}{dx^2} \qquad (1)$$

sont capables d'exprimer les résultats complexes obtenus dans les nombreuses expériences qui ont été effectuées sur l'induction magnétique dans le fer et dans d'autres métaux.

Nous allons résumer en peu de lignes ces

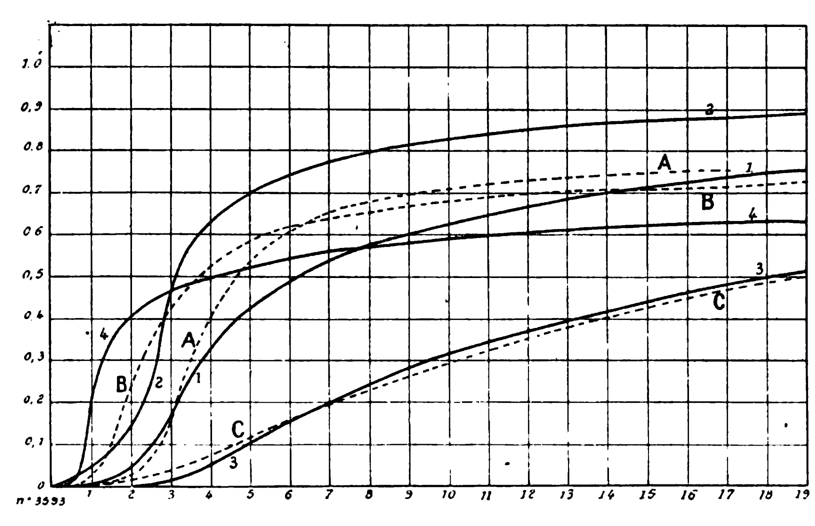


Fig. 1.

très intéressantes recherches de M. Buchanan.

Induction par accroissement continu de l'intensité du champ. — M. Ewing a prouvé que la forme de la courbe reliant l'intensité du champ H d'aimantation I est représentée par la figure 1 (courbes A, B, C; en pointillé). Ces courbes satisfont aux conditions aux limites suivantes

$$\begin{cases} \text{Pour } H = 0\text{ , } I = 0\text{, et } \dfrac{dI}{dH} = 0 \\ \text{Pour } H = \infty\text{ , } I = \text{fini, et } \dfrac{dI}{dH} = 0. \end{cases}$$

On peut trouver nombre de fonctions de la forme $f(I, H) = 0$ satisfaisant à ces conditions aux limites. Mais l'auteur propose spécialement les fonctions qui sont solutions de l'équation (1) qui sont capables de satisfaire non seulement aux conditions limites, mais encore d'exprimer les rapports complexes qui existent entre I et H

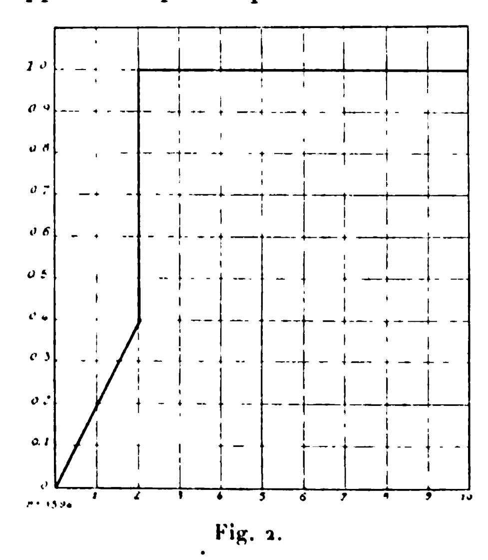


Fig. 2.

même quand la pression et la température, etc., interviennent.

Ecrivons l'équation I comme il suit,

$$\frac{dI}{dH} = p\,\frac{d^2I}{d\theta^2} \qquad (2)$$

où H = intensité du champ ;
I = — d'aimantation ;
p = une constante ;
θ = une quantité qui dépend de la pression, de la température, etc.

En posant

$$x = \theta p^{-\frac{1}{2}}$$

cette équation peut encore s'écrire

$$\frac{dI}{dH} = \frac{d^2I}{dx^2}. \qquad (3)$$

Comme solution de cette équation (3), périodique en x on a [1]

$$I = \frac{2}{\pi}\int_0^\infty F(\xi)\,d\xi \int_0^\infty \cos\left[2n\left(H-\xi\right) - x\sqrt{n}\right] e^{-x\sqrt{n}}\,.\,dn \qquad (4)$$

[1] Cf. *Lord Kelvin*, Math et Phys. Papers, II vol., p. 63.64

où F (ξ) est une fonction arbitraire donnant les conditions initiales correspondant à $x = 0$.

Cette solution peut encore s'écrire [1],

$$I = \frac{1}{\sqrt{4\pi}}\int_0^\infty F(\xi)d\xi\,\frac{xe^{-\frac{(x)}{4(H-\xi)}}}{\left(H-\xi\right)^{\frac{3}{2}}}. \qquad (5)$$

Quant à la fonction arbitraire F (ξ) nous allons poser $F(\xi) = a\xi$ entre les limites $\xi = 0$ et $\xi = h$, où h est fini et donné et a une constante ; et ensuite $F(\xi) = \text{constante} = c$, entre les limites $\xi = h$ et $\xi = \infty$. De cette manière, les conditions initiales ($x = 0$) sont exprimées par un graphique analogue à la figure 2 (Cf. Ewing. *Magnetic Induction in Iron and other metals*, 3e éd., f. 144).

Avec ces valeurs de F (ξ), on obtient finalement,

$$\left.\begin{aligned} I = {} & \frac{2a}{\sqrt{\pi}}\left(H+\frac{x^2}{2}\right)\int_{\frac{x}{\sqrt{4H}}}^{\frac{x}{\sqrt{4(H-h)}}} e^{-y^2}dy \\ & + \frac{ax}{\sqrt{\pi}}\left[e^{-\frac{x^2}{4(H-h)}}\left(\sqrt{H-h}\right) - e^{-\frac{x^2}{4H}}.\sqrt{H}\right] \\ & + c\left(1-\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\frac{x}{\sqrt{4(H-h)}}} e^{-y^2}.\,dy\right). \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

Cette relation satisfait à l'équation différentielle (3). Il est ainsi évident que si dans (6) on fait $H = 0$, $I = 0$ $\frac{dI}{dH} = 0$ pour toutes les valeurs de x excepté pour $x = 0$, quand

$$\frac{dI}{dH} = a.$$

[1] En effet, si H est positif on a

$$\int_0^\infty \cos\left[2n(H-\xi) - x\sqrt{n}\right]e^{-x\sqrt{n}}.\,dn = \frac{\sqrt{\pi}.x.e^{-\frac{x^2}{4(H-\xi)}}}{4\left(H-\xi\right)^{\frac{3}{2}}}$$

et si H est négatif,

$$\int_0^\infty \cos\left[2n(H-\xi) - x\sqrt{n}\right]e^{-x\sqrt{n}}.\,dn = 0,$$

d'où (5).

Pour $H = \infty$, $I = c$ et $\frac{dI}{dH} = 0$;
pour $x = \infty$, $I = 0$.

Ainsi donc les graphiques qui représentent (6) satisfont aux mêmes conditions aux limites que les courbes expérimentales (quant H augmente continuellement).

Si, maintenant, H est très grand, le second membre de (6) se réduit alors à

$$u = c\left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{\sqrt{4(H-h)}}} e^{-y^2}.\, dy\right) \qquad (7)$$

La figure 3 donne une idée de la variation de I avec H et x quand H est très grand. Les courbes ont pour asymptote $u = c$ et pour plus de commodité on a posé $c = 1$.

Le calcul numérique des points du graphique représenté par l'équation complète (6) est très laborieux, de sorte que l'auteur a été obligé de se contenter pour le moment du graphique représenté par la figure 1 où H est pris pour variable indépendante et où :

Pour la courbe n° 1 $a = 0{,}2$; $h = 2$; $c = 1$; $x = 2$
» n° 2 $a = 0{,}2$; $h = 2$; $c = 1$; $x = 1$
» n° 3 $a = 0{,}2$; $h = 2$; $c = 1$; $x = 4$
» n° 4 $a = 0{,}2$; $h = 0{,}5$; $c = 0{,}7$; $x = 1$.

Sur la même figure 1 on a tracé en pointillé, pour pouvoir comparer les courbes obtenues théoriquement avec les courbes obtenues expé-

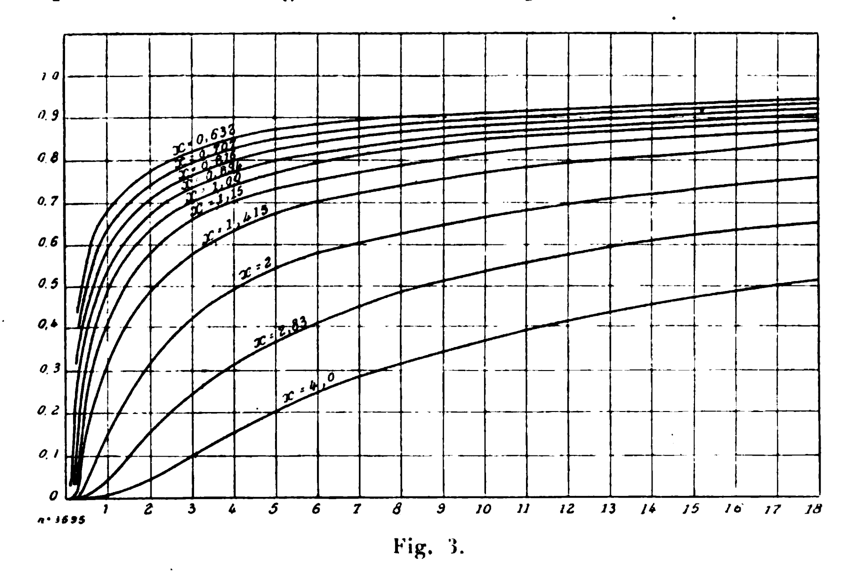


Fig. 3.

rimentalement, trois courbes d'Ewing rapportées à la même échelle correspondant à une intensité magnétique de 1 700 = unité, puisqu'il a trouvé

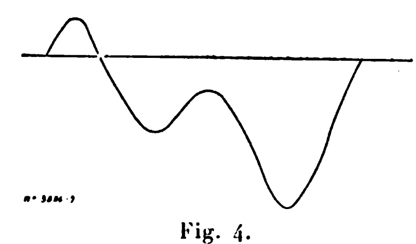


Fig. 4.

que pour le fer la valeur de saturation de I est environ 1 700 [1].

Variation périodique de H *et magnétisme résiduel.* — Considérons la courbe représentée par la figure 4, qui indique très approximativement la résultante de deux mouvements sinusoïdaux simples d'égales amplitudes et dont les périodes sont dans le rapport de 1 à 2. En rabattant la moitié droite de cette courbe sur l'autre moitié de manière que B coïncide avec A on obtient la figure 5. La courbe ainsi obtenue est un type

(1) D'après les considérations qui précèdent il est facile de comprendre que, puisque, *a priori*, les valeurs de F(ξ) dans (4) et (5) sont complètement arbitraires, il est très probable qu'une autre série de valeurs de F(ξ), différentes de celles employées par l'auteur, puisse représenter encore mieux que ces dernières la dépendance de I d'avec H. Mais l'auteur s'est borné, dans le présent mémoire, de montrer seulement que (6) donne une série de courbes du même type que celles trouvées par l'expérience.

familier de courbes en connexion avec les effets importants sur les propriétés magnétiques et thermoélectriques du même métal à étudier. Inversement, une courbe fermée analogue à celle représentée par la figure 5 représentant l'effet

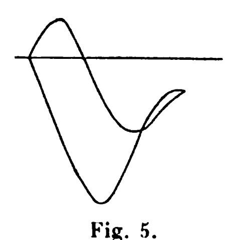


Fig. 5.

d'un changement cyclique de la variable indépendante, peut être supposée développable en une courbe ouverte du genre de celle représentée par la figure 4.

Il résulte de là qu'une courbe fermée du genre de celle représentée par la figure 5, peut être représentée par des fonctions périodiques d'une variable *continuellement croissante*.

L'auteur propose alors d'employer cette méthode pour former l'expression de la relation entre I et H quand ce dernier varie d'une manière cyclique. Remarquons qu'il n'y a rien d'artificiel dans cette méthode : car, en partant de $H = o$, on peut obtenir une intensité d'aimantation bien définie en faisant croître H successivement, mais on ne peut jamais revenir à l'état initial en passant par le même chemin.

Pour aller plus loin, remarquons qu'on ne peut accepter des valeurs négatives de H, puisque les seconds membres de (5) et (6) deviennent nuls avec H négatif; mais quant aux fonctions qui expriment l'effet des variations cycliques de H, elles peuvent, et même doivent prendre des valeurs négatives, ainsi que des valeurs positives.

Reprenons l'équation (5) et supposons-y :

$$F(\xi) = a\xi \quad \text{pour } \xi = o \text{ jusqu'à } \xi = h_1 ;$$

$$F(\xi) = c \quad \text{»} \quad \xi = h_1 \quad \text{»} \quad \xi = h_2 ;$$

$$F(\xi) = \sum_{n\ 1}^{n=\infty} (A_n \cos 2n\xi + \beta_n \sin 2n\xi).$$

pour $\xi = h_2$ jusqu'à $\xi = \infty$

En intégrant cette relation (5) on obtient finalement (1),

$$I = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[A_n e^{-x\sqrt{n}} \cos(2nH - x\sqrt{n}) + B_n e^{-x\sqrt{n}} \cdot \sin(2nH - x\sqrt{n}) \right] \quad (8)$$

Cette transition des valeurs de I exprimée par (6), et puis par (9) et finalement par (8) est très nette dans les expériences de Ewing (Ewing's, *Magnetic Induction in Iron*).

La relation précédente (8) peut encore s'écrire,

$$I = \sum_{r=1}^{r=\infty} \left[A_r e^{-x\sqrt{\frac{\pi}{N} r}} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{R} rH - x\sqrt{\frac{\pi}{R} r}\right) + B_r e^{-x\sqrt{\frac{\pi}{R} r}} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{R} rH - x\sqrt{\frac{\pi}{R} r}\right) \right] \quad (10)$$

(1) En intégrant (5) on a d'abord :

$$I = \frac{2a}{\sqrt{\pi}}\left(H + \frac{x^2}{2}\right) \int_{\frac{x}{\sqrt{4H}}}^{\frac{x}{\sqrt{4(H-h_1)}}} e^{-y^2} . dy$$

$$+ \frac{ax}{\sqrt{\pi}} \left[e^{-\frac{x}{\sqrt{4(H-h_1)}}} . \sqrt{H - h_1} - e^{-\frac{x^2}{4H}} \sqrt{H} \right]$$

$$+ \frac{2c}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{x}{\sqrt{4(H-h)}}}^{\frac{x}{\sqrt{4(H-h_2)}}} e^{-y^2} . dy + \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[A_n e^{-x\sqrt{n}} \right.$$

$$\left. \cos\left(2nH - x\sqrt{n}\right) + B_n e^{-x\sqrt{n}} \sin\left(2nH - x\sqrt{n}\right) \right.$$

$$- \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=1}^{n=\infty} (A_n \cos 2nH + B_n \sin 2nH) \int_o^{\frac{x}{\sqrt{4(H-h_2)}}} \cos \frac{nx^2}{2y^2} . e^{-y^2} dy$$

$$- \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=1}^{n=\infty} (A_n \sin 2nH - B_n \cos 2nH) \int_o^{\frac{x}{\sqrt{4(H-h_2)}}} \sin \frac{nx^2}{2y^2} e^{-y^2} dy . \quad (9)$$

Si H varie continuellement les variations de I deviennent alors cycliques. En posant dans cette expression $H + \frac{\pi}{n} Z$ à la place de H et en faisant finalement $Z = \infty$, on obtient bien la relation (8).

où R est la période de H quand $r = 1$.

Or, le second membre de cette relation ne doit pas s'évanouir en général, quand H est un multiple complet (entier) de la période R. Par suite la relation (10) exprime les conditions pour qu'il y ait du *magnétisme résiduel* [1].

Eugène Néculcéa.

---

[1] Supposons, pour fixer les idées, que $x = 0$ dans la relation (10) et que le graphique reliant I à H soit de la forme représentée par la figure 6.

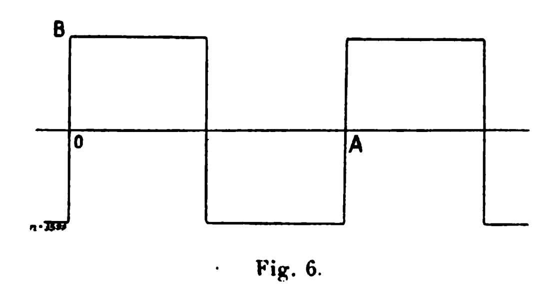


Fig. 6.

La période est alors R = OA ; en posant OB = 1, on a

$$I_{r0} = \frac{4}{\pi}\left[\sin\frac{2\pi}{R}H + \frac{1}{3}\sin\frac{2\pi}{R}3H + \frac{1}{5}\sin\frac{2\pi}{R}5H + \ldots\right]$$

donc en général

$$I = \frac{4}{\pi}\left[e^{-x\sqrt{\frac{\pi}{R}}}\cdot\sin\left(\frac{2\pi}{R}H - x\sqrt{\frac{\pi}{R}}\right) + \frac{1}{3}e^{-x\sqrt{\frac{3\pi}{R}}}\cdot\sin\left(\frac{2\pi}{R}3H - x\sqrt{\frac{3\pi}{R}}\right) + \frac{1}{5}e^{-x\sqrt{\frac{5\pi}{R}}}\sin\left(\frac{2\pi}{R}5H - x\sqrt{\frac{5\pi}{R}}\right) + \ldots\right] \quad (11)$$

Pour trouver l'intensité magnétique du magnétisme résiduel, faisons $H = \frac{R}{2}$ on obtient alors

$$-\frac{4}{\pi}\left[e^{-x\sqrt{\frac{\pi}{R}}}\sin\left(x\sqrt{\frac{\pi}{R}}\right) + \frac{1}{3}e^{-x\sqrt{\frac{3\pi}{R}}}\sin\left(x\sqrt{\frac{3\pi}{R}}\right) + \frac{1}{5}e^{-x\sqrt{\frac{5\pi}{R}}}\cdot\sin\left(x\sqrt{\frac{5\pi}{R}}\right) + \ldots\right] \quad (12)$$

La valeur H = R substituée dans (11) aurait donné la même valeur de I_r que l'expression que nous venons d'écrire, seulement changée de signe.

Sur la surface brillante de Jaumann, par **A. Korn**. *Dr. Ann.*, t. V, p. 136-140, mai 1901.

Jaumann a observé, entre deux cathodes réunies l'une et l'autre au même pôle d'une machine ou d'une bobine, une surface brillante, dont l'intersection avec la paroi du tube est marquée par une ligne bleu-clair très nette [1]. Cette ligne se déplace quand on modifie l'un ou l'autre des conducteurs qui relient les cathodes à la source. Jaumann l'attribuait à une interférence des faisceaux émis par les deux cathodes.

M. Korn a cherché à démontrer que le phénomène pourrait provenir de ce que l'électricité s'écoule plus facilement de la cathode qui est le siège des oscillations de plus grande amplitude.

Il a disposé dans un tube de 1,50 m de long deux lames d'aluminium longues de 1 m, formant les électrodes. Quand les conducteurs qui relient ces cathodes au pôle de la machine sont identiques, la ligne brillante est une droite symétrique par rapport aux deux cathodes. Si on change la longueur de l'un des conducteurs, la ligne brillante prend la forme d'une sinusoïde ; en général, on peut distinguer deux ondes entières de cette sinusoïde. La longueur de ces ondes diminue en même temps que la pression dans le tube. Quand la source d'électricité est une bobine d'induction, la ligne brillante reste toujours droite en se déplaçant régulièrement lorsqu'on fait varier un des fils adducteurs.

Voici quelques exemples numériques :

1er exemple. — $x = 1$ et R = 180. La relation (12) nous donne alors

$$I_r = \frac{4}{\pi} \times 0.66 = 0,84.$$

2e exemple. — $x = 1$, R = 180 et $H = \frac{R}{4} = 45$; la relation (11) donne alors

$$I = \frac{4}{\pi} \times 0,69 = 0,87.$$

3e exemple. — $x = 4$, R = 180; la relation (12) donne

$$I_r = \frac{4}{\pi} \times 0,57 = 0,72.$$

4e exemple. — $x = 4$, R = 180 et $H = \frac{R}{4} = 45$; la relation (11) donne

$$I = \frac{4}{\pi} \times 0,444 = 0,57.$$

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XV, p. 550, juin 1898 ; t. XXI, p. 68, octobre 1899.

Dans le vide à 0,3 ou 0,7 mm les oscillations hertziennes seraient susceptibles de provoquer les effets que les rayons ultra-violets, les rayons de Rœntgen et les rayons de Becquerel produisent dans l'air à la pression ordinaire. L'électricité s'écoulerait donc plus facilement des électrodes dans les points où les oscillations sont le plus intenses. M. L.

Ampèremètre électrolytique Job. *Bulletin de la Société chimique de Paris*, 3e s., t. XXV, p. 7; 1901.

Dans des recherches déjà anciennes, M. André Job, maître de conférences à la Faculté de Rennes, se servait du dispositif suivant pour évaluer la quantité de gaz dégagée dans une réaction chimique : le flacon à réaction est fermé par un bouchon muni d'un tube capillaire par lequel s'écoule les gaz ; il en résulte un excès de pression qui, une fois le régime permanent établi, mesure à chaque instant le débit gazeux. Pour étalonner l'appareil, en d'autres termes, pour avoir la relation entre le débit et l'excès de pression M. Job faisait circuler à travers le tube un volume connu d'un mélange tonnant obtenu en faisant passer un courant d'intensité connue dans de l'eau additionnée de potasse. Il se trouva ainsi conduit à l'ampèremètre électrolytique décrit récemment par Bredig et Hahn [1].

Le dispositif adopté par M. Job et construit par M. Chabaud, est représenté par la figure ci-jointe.

On prend une éprouvette à pied, et on la ferme par un bouchon de caoutchouc à trois trous. Deux des trous livrent passage à des tiges métalliques qui supportent des électrodes cylindriques *a* et *b* en tôle de fer ou de nickel. L'électrolyte est une solution de soude à 15 p. 100 (maximum de conductibilité). Enfin, le dégagement du gaz tonnant s'effectue par un tube en T. A l'une des branches du T on ajuste un manomètre à eau M ; à l'autre, un tube capillaire C tel qu'une tige de thermomètre.

On fait passer le courant : on sait, d'après les travaux de Graham [2] sur la transpiration des gaz, que, si le tube capillaire est suffisamment long, l'excès de pression indiqué par le manomètre sera proportionnel au débit du gaz tonnant ; il sera donc, par là même, proportionnel à l'intensité. Ainsi, *ce voltamètre indique réellement, à chaque instant, l'intensité du courant.* C'est un véritable ampèremètre, et, en fait, il remplace avec avantage les ampèremètres métalliques pour tous les usages du laboratoire.

Pour traduire en ampères les indications du manomètre, il suffit de connaître le coefficient de proportionnalité caractéristique de la tige capillaire. Le constructeur détermine ce coefficient en comparant le voltamètre avec un appareil étalon. Il peut même, pour plus de commodité, choisir la tige capillaire de telle sorte que chaque centimètre de pression corresponde à une division décimale de l'ampère. On voit, d'ailleurs, qu'en ajustant des tubes capillaires variés sur le même voltamètre, on pourra changer à volonté la sensibilité de l'appareil.

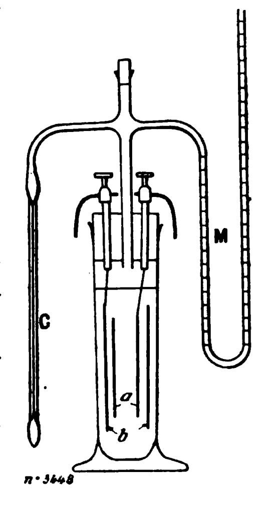


Fig. 1.

Sa précision est tout à fait suffisante. Elle pourrait être limitée, il est vrai, par les variations de température [1]. (Encore l'erreur qui résulte de ces variations est-elle négligeable pour la plupart des mesures courantes.) Mais il est facile de corriger ces variations à l'aide de tables. On les corrige encore plus aisément sur l'appareil lui-même : il suffit d'ajuster à la sortie de la tige thermométrique un raccord capillaire plus court et plus large dans lequel on fait avancer une fine aiguille de platine. Une graduation empirique marque les positions de l'aiguille qui, aux diversse températures, correspondent aux mêmes pressions.

On peut prévoir que la disposition même de ce voltamètre ou une disposition analogue permettra d'étudier les vitesses de transformation des électrolytes eux-mêmes. Les oxydations ou les réductions électrolytiques se traduisent, en effet, par une diminution de la quantité d'oxygène dégagée aux électrodes. Le manomètre accusera donc à chaque instant l'intensité de ces phénomènes.

(1) *Zeits. für Elektrochemie*, t. VII, p. 259, 8 novembre 1900 ; *Écl. Élec.*, t. XXVI, p. 341, 2 mars 1901.

(2) *Philosophical Transactions*, 1849.

(1) Pour une intensité constante, la pression varie avec la température d'environ 6 millièmes par degré.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXVIII. Samedi 24 Août 1901 8e Année. — No 34

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

APPAREILS DE MESURES

Les électrodynamomètres de l'Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft ont été décrits ici même à deux reprises [1], nous n'insisterons pas sur les détails. Le brevet anglais [2] montre que le seul point revendiqué est l'emploi d'une enveloppe de fer destinée à canaliser les lignes de force et à empêcher leur action sur les aimants DD de l'amortisseur magnétique. Grâce à l'emploi de cet écran de fer, on peut placer les aimants très près de la bobine fixe F, sans avoir à craindre leur désaimantation sous l'action des courants alternatifs.

Les figures 1 à 4 montrent très clairement la disposition des diverses parties : l'amortisseur A en forme de 8, le faisceau de tôle de fer E, les ressorts spiraux G. Les lignes de force du champ créé par les bobines fixes sont indiquées en pointillé sur la figure 1.

Le brevet ne mentionne pas du tout la forme de l'ouverture percée dans les tôles pour placer les bobines et, par conséquent, n'indique pas l'influence de cette forme sur la proportionnalité des déviations.

Le compteur de Elihu Thomson [3] est composé d'un moteur à induction renfermant deux groupes de bobines fixes et mobiles, qui rappellent un peu la disposition bien connue des compteurs Thomson, mais, différence essentielle, il n'y a ni collecteur, ni balais, les deux armatures mobiles étant reliées et fermées l'une sur l'autre.

---

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXV, p. 121 et 329.

[2] Brevet anglais no 25681, déposé par V. I. Feeny, le 26 décembre 1899, accepté le 31 mars 1900, 4 figures.

[3] Brevet anglais no 20803, déposé par The British Thomson-Houston Comp., le 17 octobre 1899, accepté le 3 février 1900, 3 figures.

Le courant total traverse les bobines fixes CC (fig. 5), et le courant dérivé les bobines fixes BB; dans le circuit de celles-ci on ajoute une bobine de réaction I, ou tout autre dispositif destiné à retarder la phase du courant dérivé. Les deux armatures mobiles et le disque frein D, sont fixés sur un seul arbre S. Les bobines de l'armature A_1 sont connectées avec les bobines de A_2. Quand une des bobines de A_1 est parallèle aux bobines CC, il s'y développe un courant induit, qui est envoyé dans une bobine de A_2, choisie de telle sorte qu'elle fait un angle avec le plan des bobines B ; dans ces conditions, il se produit une action

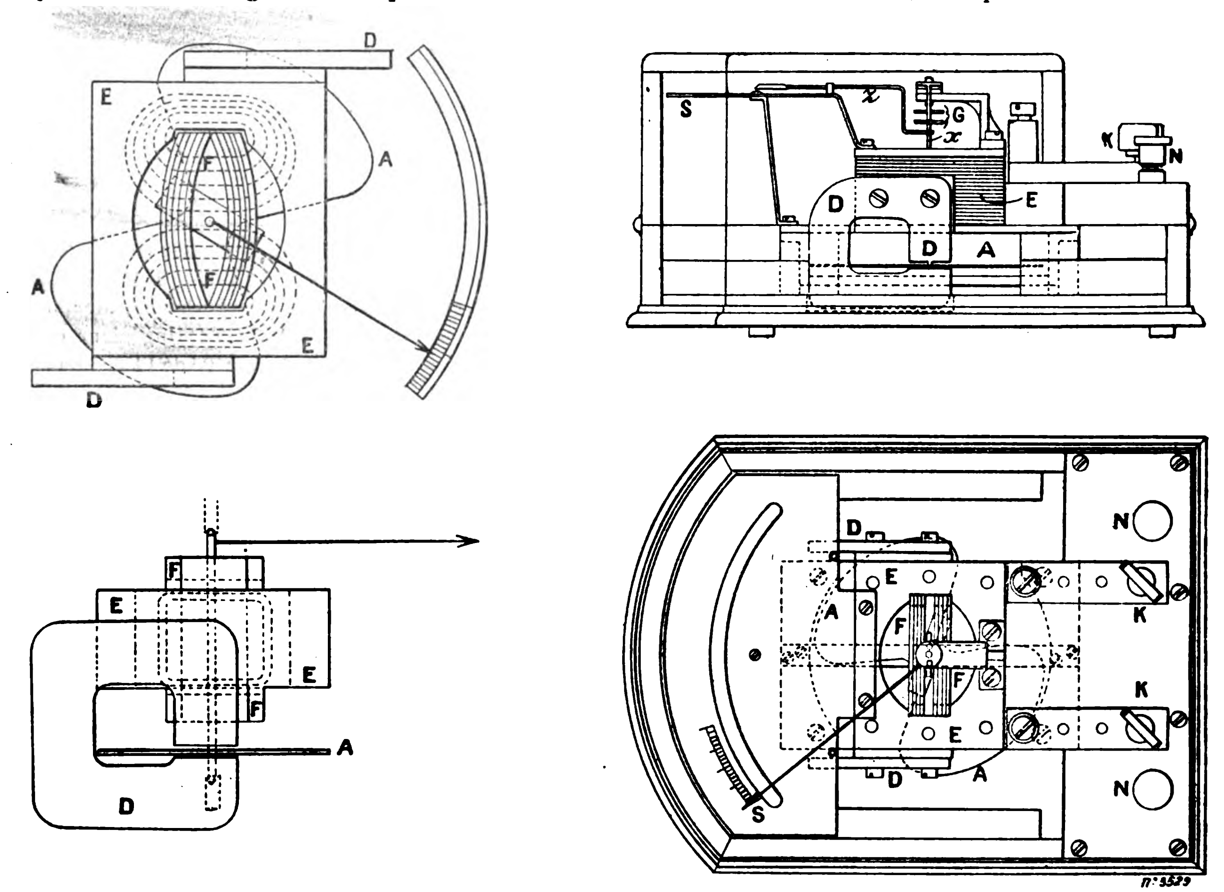


Fig. 1 à 4. — Electrodynamomètres de l'A. E. G.

électrodynamique, entre A_2 et B, qui tend à faire tourner l'arbre. Dès qu'une bobine de A_2 est arrivée à être parallèle à BB, le courant induit qui s'y développe exerce son action entre A_1 et C. En résumé il y a là une combinaison de phénomènes d'induction et d'actions électrodynamiques dont on peut varier les combinaisons à l'infini ; le brevet ne renferme d'ailleurs pas moins de 11 *claims*, qu'il est inutile d'énumérer ici.

Les figures 5 à 9 montrent quelques-unes des combinaisons possibles. Par exemple, les bobines de champ C et B peuvent être parallèles et les bobines mobiles A_1 et A_2, décalées par les connexions établies entre elles (fig. 6 et 8). Les bobines de champ peuvent faire un angle de 45°, les bobines mobiles étant parallèles entre elles (fig. 7). Enfin les bobines mobiles peuvent être composées seulement de deux enroulements C_1C_2, au lieu d'un plus grand nombre de sections, (fig. 9).

Comme dans tous les compteurs moteurs, les bobines du courant principal sont munies

d'un enroulement supplémentaire KK, (fig. 5), placé en dérivation sur les conducteurs *a b* et destiné à assurer le démarrage aux faibles charges.

Dans le compteur à induction de l'ALLGEMEINE ELEKTRICITÆTS GESELLSCHAFT (1), un disque métallique A (fig 10, 11 et 12), est mis en mouvement par l'effet des courants induits, de phases différentes, développés par la variation des champs magnétiques produits par les trois branches de l'électro. Sur les deux branches extrêmes sont enroulées les bobines des volts et sur la branche centrale celle des ampères. Les trois noyaux de fer sont réunis par une seule culasse et les circuits magnétiques sont fermés par une seule armature R. La

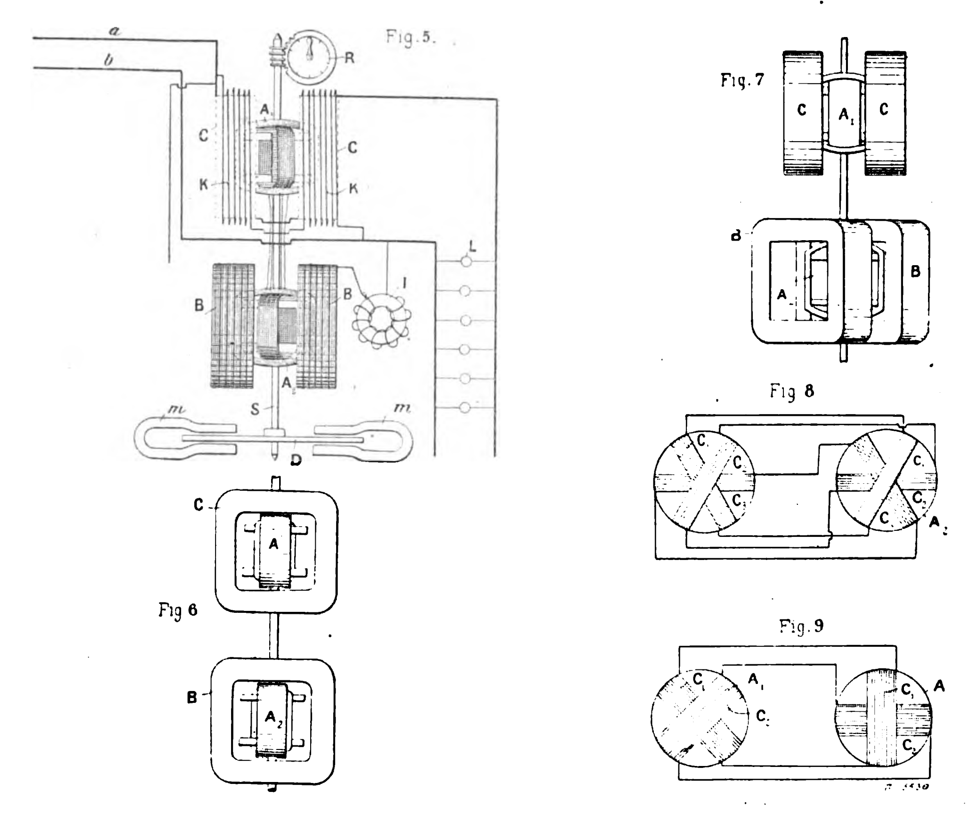


Fig. 5 à 9. — Compteurs à induction de E. Thomson.

figure 13 montre la direction des flux créés par les différentes bobines. On voit que les bobines des volts sont en série, au point de vue magnétique, et que la bobine des ampères ferme son circuit magnétique par les noyaux des deux bobines de volts ; le flux créé par la bobine des ampères s'ajoute à celui créé par une des bobines de volts et se retranche de l'autre.

Pour éviter qu'à pleine charge le noyau de gauche, où les actions magnétiques se superposent, arrive à la saturation, le circuit des ampères est enroulé en partie sur la bobine S_1.

Le réglage de l'appareil consiste à donner aux bobines de volts seules une action suffisante pour vaincre les frottements au départ et à rendre la vitesse proportionnelle à la puissance mesurée. On arrive à compenser les frottements en donnant une légère dissymétrie aux entrefers L_1 et L_2, et en plaçant des bagues de cuivre autour de l'un des électros S_1 ou

(1) Brevet anglais, n° 683, déposé par V. I. Feeny, le 11 janvier 1900, accepté le 31 mars 1900. 5 figures.

S_2; ces deux moyens sont indiqués sur la figure 14, où l'on voit les bagues de cuivre BB et la disposition de l'armature de fer, pincée dans une mâchoire qui permet de faire varier sa distance au noyau. La proportionnalité est obtenue en donnant un rapport et une valeur convenables aux enroulements du circuit total sur les noyaux H et S_1.

Le moyen employé par Elihu Thomson [1] pour régler la vitesse d'un compteur moteur et la rendre proportionnelle à la puissance mesurée, repose sur l'emploi d'une sorte de

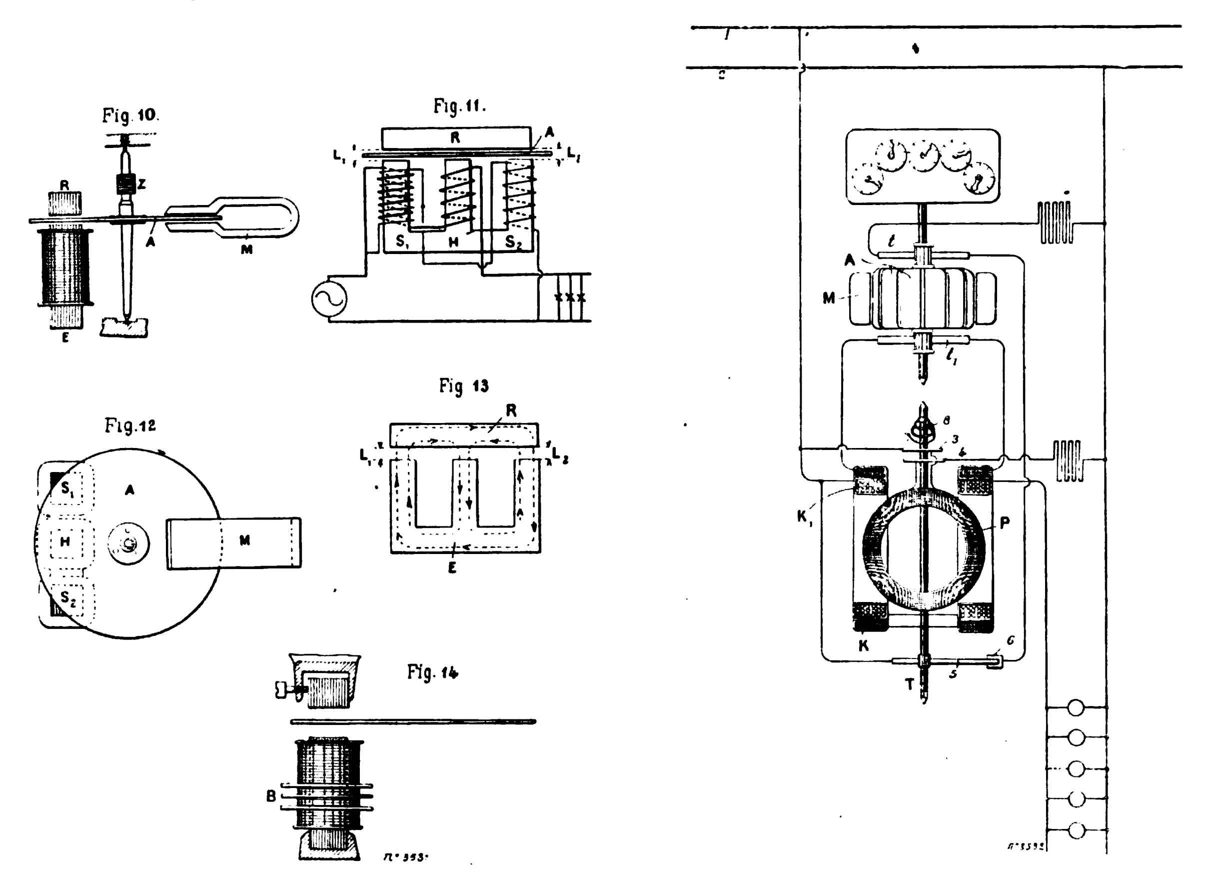


Fig. 10 à 14. — Compteur à induction de l'A. E. G.

Fig. 15. — Compteur E. Thomson.

méthode de zéro. Le moteur (fig. 15), se compose d'une bobine mobile A, à deux enroulements, qui reçoit, dans l'un de ses enroulements, le courant dérivé pris sur les conducteurs 1, 2. Cette bobine est placée dans le champ *constant* fourni par un aimant M, ou par une bobine équivalente. Dans une distribution à potentiel constant, la vitesse obtenue dans ces conditions est invariable; pour la rendre proportionnelle à la puissance mesurée, on peut ne laisser passer le courant dans la bobine mobile que pendant des intervalles de temps proportionnels à l'intensité du courant principal. A cet effet, une sorte d'électrodynamomètre est composé d'une bobine plate P, montée sur un axe T; cette bobine reçoit également une dérivation du courant amenée par les ressorts spiraux 3 et 4. L'axe T est muni d'un ressort 8 qui tend à l'entraîner et force le levier 5 à s'appuyer sur le contact 6; ce n'est que quand le contact est fermé que le courant passe par l'armature A.

(1) Brevet anglais n° 21 669, déposé par The British Thomson-Houston Camp., 30 octobre 1899, accepté le 3 février 1900. 1 figure.



La bobine mobile est placée au centre d'une bobine fixe portant deux enroulements K et K_1. Le courant total traverse K_1, qui est ainsi la bobine des ampères, tandis que K est parcouru par un courant auxiliaire fourni par le second enroulement de la bobine mobile A ; le courant sort de A par les balais t_1.

L'intensité du courant auxiliaire est proportionnelle à la vitesse de rotation de la bobine A et les connexions sont établies de telle sorte que le champ créé par K annule celui créé par K_1. Dans ces conditions, tant que la vitesse de A est insuffisante pour que le champ soit annulé dans l'intérieur des bobines KK_1, le ressort 8 maintient le contact 5,6 fermé et, par conséquent, la vitesse de A tend à augmenter ; mais dès que le champ de K devient très légèrement prépondérant, la bobine P tend à dévier en sens inverse et le contact 5,6 est rompu, la vitesse de A diminue et le contact se rétablit.

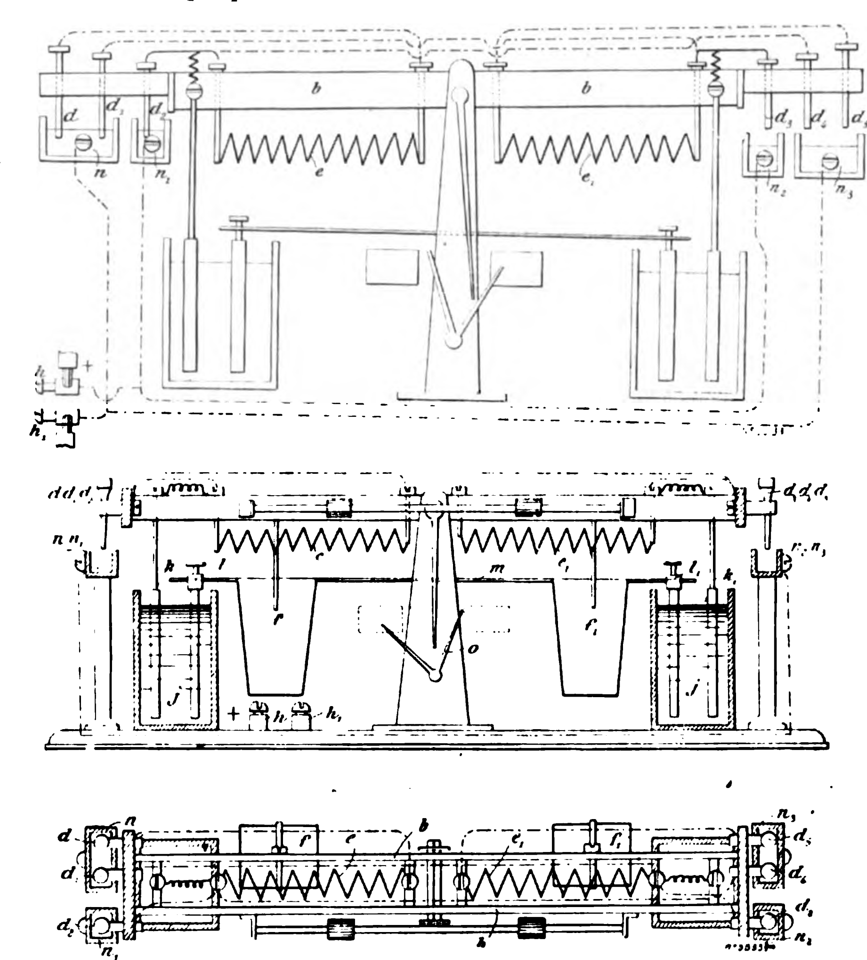


Fig. 16 à 18. — Compteur électrolytique à prépaiement Terrey et Philipps.

En réalité, l'équilibre s'obtient par une série de contacts successifs, d'autant plus longs que le courant principal est plus intense. C'est bien une méthode de zéro qui est employée puisque le champ total de la bobine fixe doit être annulé par le courant auxiliaire de la bobine A.

Le compteur à prépaiement de Ed. F. Terrey et Ch. H. Ingless Philipps [1] est un appareil électrolytique composé de deux cuves à décomposition *jj*, remplies d'une solution de sulfate de cuivre, dans lesquelles sont plongées deux électrodes fixes ll_1, et deux électrodes mobiles kk_1 (fig. 16 et 17). Les deux cuves sont en série, entre elles, et en dérivation sur une des résistances ee_1, voir schéma (fig. 16). Les électrodes mobiles sont montées aux extrémités d'un fléau de balance *bb*, lequel porte également des tiges de contact réglables $dd_1\ d_2\ d_3\ d_4\ d_5$; des godets à mercure $nn_1\ n_2\ n_3$, établissent les connexions nécessaires avec les tiges de contact. Deux augets ff_1 sont destinés à recevoir les pièces de monnaie introduites par des ouvertures spéciales.

(1) Brevet anglais n° 974, déposé le 18 janvier 1899, accepté le 16 janvier 1900. 3 figures.

Les choses étant ainsi disposées, supposons une pièce de monnaie placée à gauche du fléau, cette pièce fait basculer le fléau, les tiges dd_1 d_2 plongent dans les godets et le circuit est fermé entre hh_1 par la résistance e ; les cuves d'électrolyse sont en dérivation sur la résistance e et le sens du courant est tel que la plaque k diminue de poids, tandis que k_1 augmente. Dès que la différence du poids est égale au poids de la pièce, le fléau se soulève et rompt les connexions ; il faut à ce moment remettre une nouvelle pièce pour rétablir le courant, mais, afin de conserver un poids moyen constant aux électrodes, il faut mettre

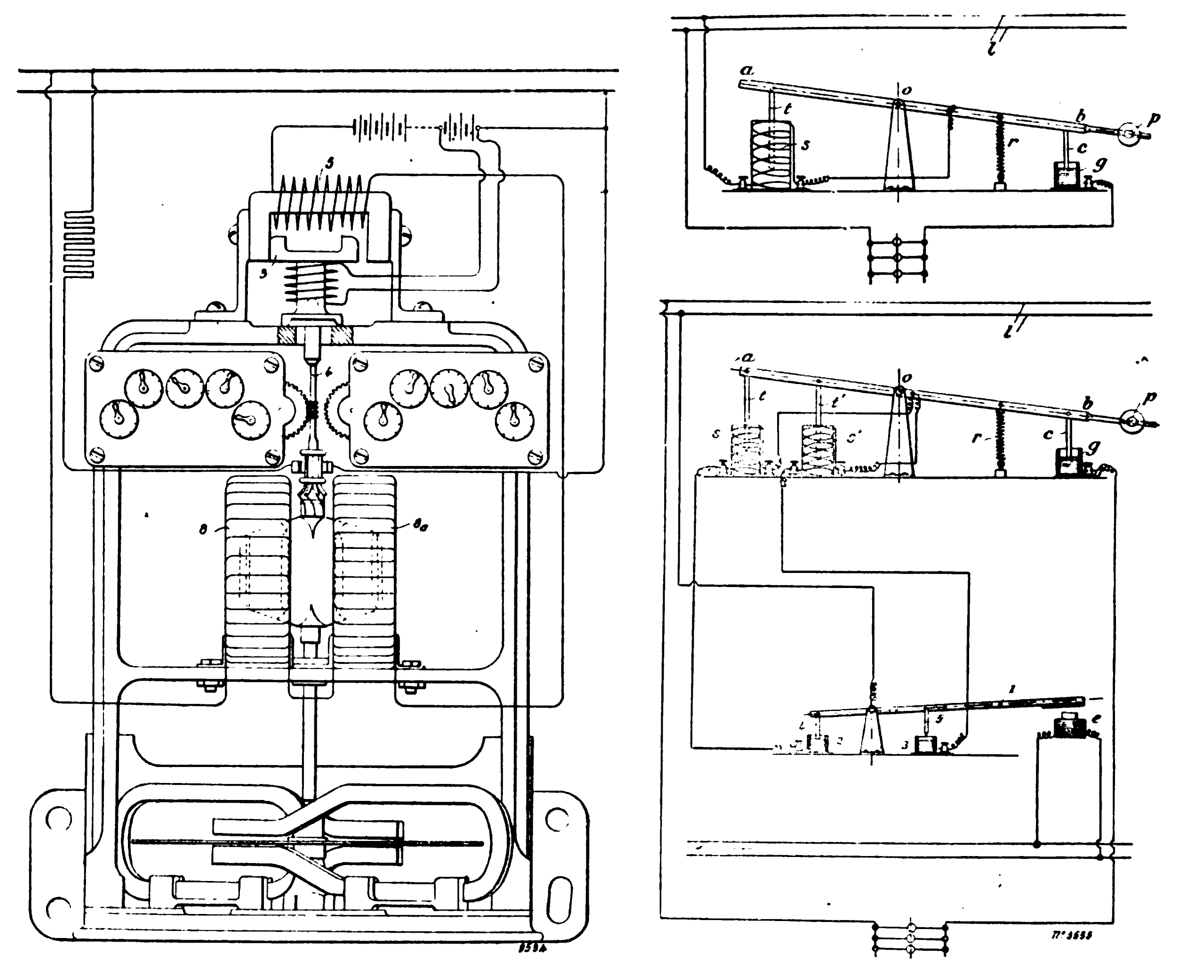


Fig. 19. — Compteur pour charge et décharge d accumulateurs.

Fig. 20 et 21 — Régulateurs de maximum.

la nouvelle pièce *à droite*. Pour qu'il n'y ait aucune indécision à ce sujet, un petit indicateur o montre de quel côté on doit placer la pièce suivante.

Pour permettre à un compteur moteur d'enregistrer, sur des cadrans distincts, l'énergie absorbée à la charge et l'énergie rendue à la décharge, M. C.-D. Haskins [1] emploie deux séries de rouages avec cadrans et il met la vis sans fin de l'induit du moteur, en prise avec l'un ou l'autre des rouages, simplement en donnant à l'axe 4 (fig. 19), un léger déplacement par rapport à la verticale.

[1] Brevet anglais n° 25 752, déposé par The British Thomson-Houston Comp., le 30 décembre 1899, accepté le 7 avril 1900. 1 figure.

Le tourillon dans lequel entre le pivot supérieur de l'axe est porté par une pièce susceptible d'un mouvement latéral ; cette pièce est fixée à un électro 3, excité, dans un sens déterminé, par le courant emprunté à quelques éléments de la batterie. Un second électro 5 est excité par le courant total, il est en série avec les bobines fixes 8 et 8 *a*. La polarité de l'électro 5 change avec le sens du courant et l'électro 3 est attiré à droite ou à gauche en entraînant l'arbre 4, de telle sorte que la vis sans fin vient engrener avec le premier mobile de l'un ou l'autre des rouages et, finalement, la charge s'enregistre sur une des séries de cadrans et la décharge sur l'autre.

Le brevet de H. Kunkelmann, Ch. Em. François et C.-R. Loubery [1], est relatif à diverses dispositions destinées à l'application des tarifs variables. Le premier cas est celui des régulateurs de maximum. On sait que ces instruments, employés dans la vente à forfait de l'énergie électrique, ont pour but de couper le courant du consommateur dès que l'intensité dépasse la limite prévue par le contrat.

Ces régulateurs se composent en principe d'un fléau de balance *ab* (fig. 20), pivotant en *o* et soumis à l'action de deux forces opposées : l'une constante, produite par l'action d'un ressort *r* ou d'un contrepoids *p*, l'autre engendrée par l'attraction variable d'un solénoïde *s* sur un noyau de fer *t*. Quand l'intensité dépasse la limite fixée, l'action du solénoïde l'emporte sur celle du ressort et le fléau s'incline vers la gauche ; dans ce mouvement il fait sortir la pointe *c* du mercure qui remplit le godet *g* et le courant se trouve rompu ; le ressort rétablit alors le contact qui est de nouveau rompu et cette succession de ruptures se reproduit tant que le client n'a pas réduit le nombre des lampes allumées.

Pour permettre l'application des tarifs variables, les inventeurs proposent d'abord l'emploi d'un shunt placé sur l'électro à l'aide d'un courant auxiliaire envoyé de l'usine aux heures de changement de tarif. Le solénoïde se trouvant shunté, il est facile de comprendre que l'intensité à laquelle se produira la rupture sera plus élevée que sans shunt, le client pourra donc dépenser plus d'énergie aux heures de tarif réduit. Une disposition équivalente consiste à ajouter, au solénoïde, un rhéostat susceptible de donner plusieurs valeurs différentes du rapport du courant total au courant qui traverse le régulateur. Enfin, une troisième disposition est celle de la figure 21, dans laquelle on fait usage de deux solénoïdes placés à des distances inégales du point d'oscillation du fléau. Un second fléau, actionné par l'électro *e*, qui reçoit le courant d'un circuit auxiliaire *ff*, permet de mettre en circuit l'un ou l'autre des solénoïdes *ss'*.

Le second cas s'applique aux indicateurs de maximum employés dans les villes où l'on se sert du tarif de Brighton. Cette disposition consiste, comme on le sait, à faire payer aux consommateurs d'après le courant *maximum* qu'ils ont consommé à un moment quelconque d'une période de temps fixée à l'avance. Par exemple, il est entendu, comme à Brighton, que le client paiera au tarif fort de 0,0926 fr l'hectowatt-heure, tant que sa consommation totale ne sera pas équivalente au produit du maximum constaté par un temps correspondant à une demi-heure par jour. L'excédent sur cette quantité sera payée d'après le tarif très réduit de 0,0132 fr l'hectowattheure.

La détermination de l'intensité maximum, atteinte pendant la période considérée, se fait à l'aide d'appareils spéciaux dont le prototype est celui de Wright : il se compose de deux ampoules réunies par un tube en U (fig. 22). L'ampoule 6 est entourée d'un fil parcouru par le courant total ; le tube étant rempli d'un liquide coloré, quand l'échauffement de l'air contenu dans l'ampoule dépasse une certaine valeur, le liquide, chassé par la dilatation,

---

[1] Brevet anglais n° 7 364, déposé le 7 avril 1899, accepté le 17 février 1900. 4 figures.

s'élève dans l'ampoule de droite et vient retomber dans le tube 8 ; la hauteur du liquide dans le tube donne la mesure de l'intensité maximum atteinte à un moment quelconque.

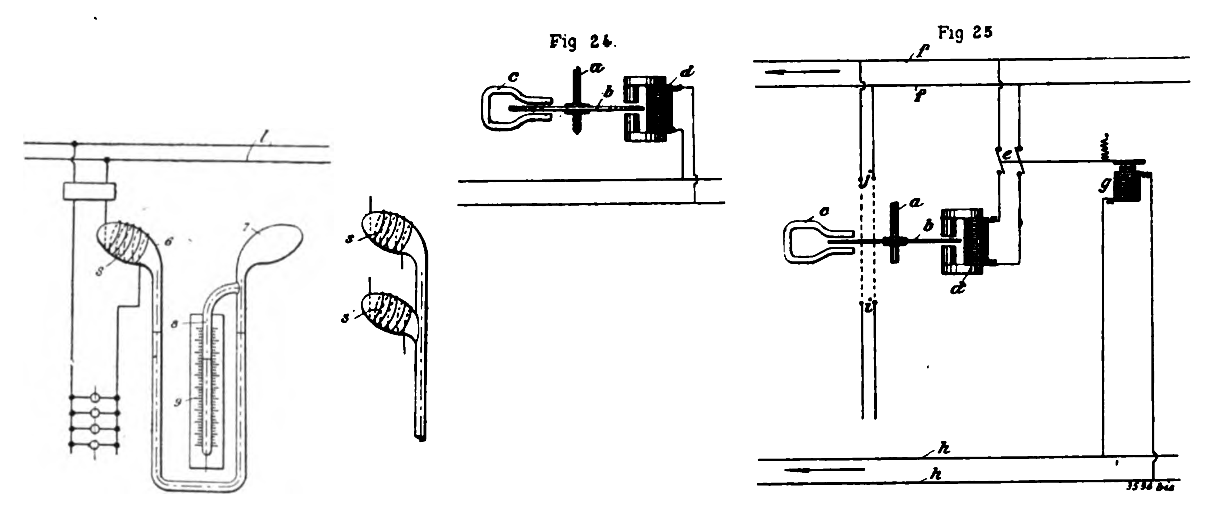


Fig. 22 et 23. — Indicateurs de maximum. Fig. 24 et 25. — Dispositions pour tarifs variables.

Pour appliquer les tarifs variables à cette disposition, il faut permettre aux clients de prendre une intensité plus grande aux heures de tarif faible ; dans ce but, des dispositifs analogues aux précédents sont employés : shunts et rhéostats sur la bobine d'échauffement *f*, ou emploi de deux bobines, *s* et *s'* (fig. 23), alternativement employées grâce au même système que dans la figure 21.

Le second brevet des mêmes [1] est encore relatif à l'emploi des tarifs variables, mais il s'applique aux compteurs proprement dits. Les dispositions revendiquées agissent soit sur le frein, soit sur la bobine des volts, soit enfin sur celle des ampères.

Si le compteur est muni d'un frein à disque *b* (fig. 24), on ajoute à l'action de l'aimant *c*, celle d'un électro *d* qui reçoit, au moment voulu, un courant auxiliaire envoyé, au moyen de fils spéciaux, par une horloge placée à la station centrale. Cet électro fait *retarder* le compteur ce qui équivaut à une réduction du tarif. S'il n'y a que deux tarifs, on peut se contenter d'envoyer, de l'usine centrale, un courant dans l'électro *g* (fig. 25), celui-ci ferme alors le circuit de l'électro-frein sur le réseau lui-même. Quand l'action régulatrice est produite d'une autre manière, on peut encore, sur les compteurs moteurs, ajouter un disque avec le dispositif ci-dessus.

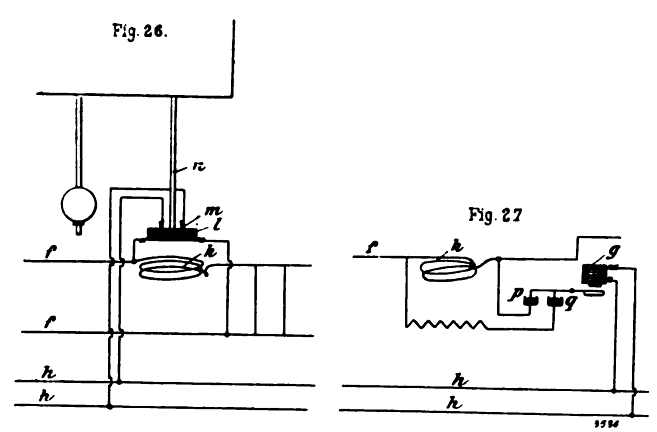


Fig. 26 et 27. — Dispositions pour tarifs variables.

Pour retarder les indications au moyen du circuit des volts, on peut mettre une seconde bobine dont l'action s'ajoute ou se retranche de celle de la bobine principale. Dans le

(1) Brevet anglais n° 6 032, déposé le 30 mars 1899, accepté le 17 mars 1900. 5 figures.

compteur Aron, par exemple, (fig. 26), on ajoute à la bobine mobile *l* une seconde bobine concentrique *m*, qui reçoit un courant des conducteurs *hh*. On peut aussi ajouter une résistance au circuit des volts ; le dispositif de la figure 28 est destiné à cet objet : le courant auxiliaire, envoyé de la station centrale au moment du changement de tarif, passe dans le solénoïde *d*, attire le noyau de fer 2, et celui-ci en s'élevant pousse le cliquet 4 contre la roue à rochet 9. Cette roue est solidaire d'un cylindre portant une bague continue et une bague coupée ; entre les coquilles de cette dernière sont intercalées des résistances. Des balais frottent sur chaque bague et ferment ainsi le circuit de la bobine des volts *l*. Grâce à cette disposition, il suffit d'une seule émission de courant, à l'usine centrale, pour faire avancer la roue 9 et changer la vitesse du moteur par la variation de la résistance.

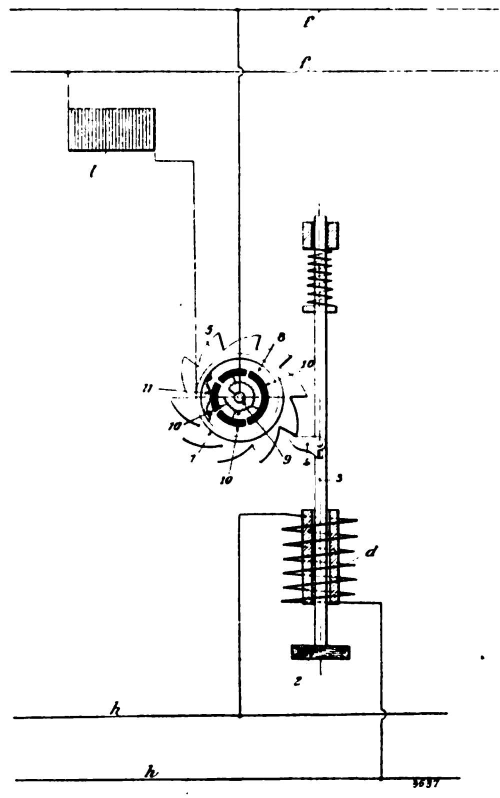


Fig. 28. — Disposition pour tarif variable.

Sur la bobine des ampères on agit en shuntant cette bobine, grâce à un électro auxiliaire *g* qui ferme, au moment voulu, le circuit du shunt en réunissant les godets *pq* (fig. 27).

Dans la combinaison de M. Ed. Silvey Halsey[1] l'indication du courant maximum est obtenue par une modification apportée au compteur lui-même. Le système, qui s'applique aux compteurs moteurs, se compose d'une sorte de dynamomètre de transmission intercalé entre l'armature mobile du compteur et le système formant frein. Les figures 29 à 32 représentent l'application à un compteur genre Thomson. L'arbre vertical 12 est coupé en deux parties ; celle du haut se termine en pointe et repose dans une crapaudine formée par l'extrémité supérieure de l'autre partie. Un ressort spiral 7, fixé au manchon 3, solidaire de la partie inférieure, et au chapeau 11, qui termine la partie supérieure, établit la jonction entre les deux morceaux de l'arbre. Le bord du chapeau 11 est taillé en roue à rochet et un cliquet 4, solidaire du manchon 3, permet le mouvement relatif des deux parties de l'arbre, dans un sens seulement. Un index 6, fixé au chapeau 11, indique la position relative des deux

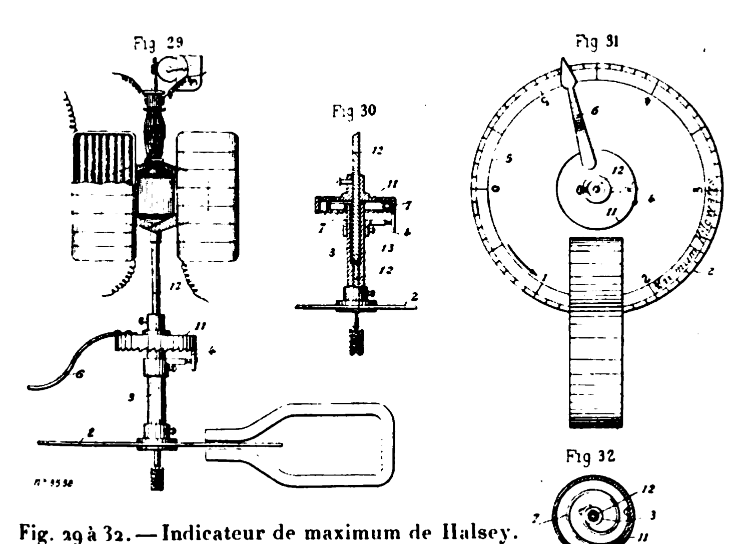


Fig. 29 à 32. — Indicateur de maximum de Halsey.

[1] Brevet anglais n° 21 378, déposé le 27 mars 1899, accepté le 10 mars 1900. 4 figures.

parties de l'arbre ; à cet effet le disque-frein 2 porte une graduation qui indique directement en kilowatts la puissance moyenne enregistrée.

Le fonctionnement de l'appareil est facile à comprendre : le compteur étant en action, le couple moteur, développé par l'action de l'armature sur les inducteurs, se transmet au disque-frein par l'intermédiaire du ressort 7 ; celui-ci doit donc se tordre jusqu'à ce que son couple soit égal au couple moteur. La roue à rochet permet cette torsion, mais elle empêche le retour du ressort à sa position initiale quand le couple diminue ; il en résulte que l'index garde l'indication du couple maximum développé. Si, par la suite, la puissance enregistrée est plus grande, la torsion du ressort augmente encore. Le même appareil réunit ainsi le compteur proprement dit et l'indicateur de maximum.

H. Armagnat.

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

RÉGULATEUR DE VITESSE DES TURBINES HYDRAULIQUES [1] (*Suite*).

Régulateur servo-moteur hydraulique de MM. Ganz et Cie [2]. — MM. Ganz et Cie exposaient une turbine Francis de 1 000 chevaux, dont nous donnons différentes vues dans les figures 1, 2 et 3.

Cette turbine, destinée à l'usine de carbure de calcium de Jajce (Bosnie) consomme 1 330 litres d'eau par seconde sous une chute de 74 m. Le régulateur est tel que les constructeurs ont pu donner les garanties suivantes :

pour une variation de charge de :	25 p. 100	100 p. 100.
la variation de vitesse ne dépasse pas :	2 p. 100	5 p. 100.

Le tachymètre ne présente rien de particulier : il agit, par l'intermédiaire d'un levier, sur le tiroir de distribution de l'organe que nous appellerons le *distributeur* indiqué en D (fig. 1). Ce distributeur a pour mission d'envoyer de l'eau dans un cylindre *c* et d'un côté ou de l'autre du piston qui commande les vannages.

Enfin un filtre F est prévu de manière qu'il passe dans le distributeur exclusivement de l'eau très pure. Le distributeur constitue d'ailleurs la particularité spécifique du régulateur.

Nous empruntons à un récent article de M. le professeur F. Prazil [3] la figure 4 qui fait bien comprendre le jeu de ce distributeur : elle représente cet organe, à peu de chose près, comme il est réellement disposé.

C'est, en somme, un tiroir cylindrique à cloisons multiples, dont les déplacements sont commandés par un second tiroir cylindrique, concentrique et intérieur au précédent, et dont le déplacement est lié aux mouvements verticaux du tachymètre.

L'eau sous pression arrive du filtre par les orifices *e*, elle se rend au cylindre *c* par les orifices K_1 et K_2 ; *a* est l'orifice d'évacuation.

(1) Voir l'*Éclairage Électrique*, t. XXV, p. 65, 13 octobre 1900, et XXVII, p. 134, 19 avril 1901.
(2) Section hongroise, classe 20.
(3) *Schweizerische Bauzeitung*, t. XXXVII, n° 8 (1901).



La première position (I) correspond à l'équilibre : le tiroir de distribution A, de même que le tiroir à cloisons multiples sont dans leur position moyenne. A ce moment, les chambres sont toutes remplies d'eau sous pression.

Supposons maintenant que la vitesse augmente, le tiroir A remonte légèrement et démasque deux rangées d'orifices du tiroir à cloisons multiples, de telle sorte que l'eau de la chambre 1 passe dans la chambre 3 puis s'écoule par le conduit a, créant ainsi une dépres-

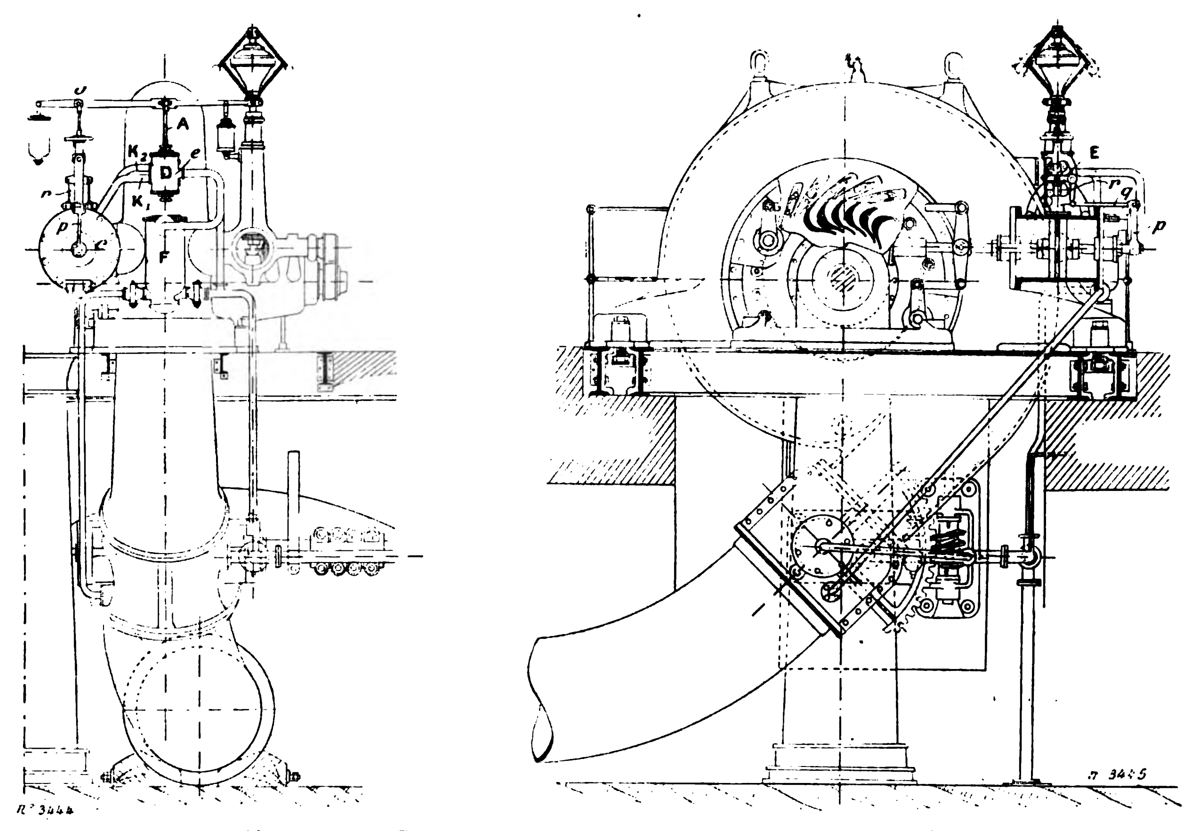


Fig. 1 et 2. — Régulateur servo-moteur hydraulique de Ganz et Cie.

sion dans la partie supérieure du distributeur, tandis que de l'eau sous pression entre dans la chambre 9. Par suite de cette rupture d'équilibre, le tiroir à cloisons multiples est repoussé vers le haut (position II).

Dans ce mouvement, le tiroir à cloisons multiples vient prendre la position III : l'eau sous pression passe par K_1 et pousse le piston de réglage dans un certain sens : en même temps l'eau située de l'autre côté de ce piston de réglage afflue par K_2, pour s'écouler par a.

Le mouvement du piston de réglage est asservi par le moyen des tiges p q et du levier r, de telle sorte que le déplacement de ce piston a pour effet de remonter le point o que nous avions implicitement supposé fixe jusqu'ici; cette élévation du point o se combine avec l'abaissement de la douille du tachymètre, lequel résulte du commencement de réglage, et cette double action se traduit par le mouvement vers le bas du tiroir de distribution et son retour à la position moyenne (position IV). L'eau sous pression s'échappe de la chambre 9 à la chambre 7, pour s'écouler par a; en même temps de l'eau sous pression rentre par l'orifice supérieur e successivement dans les chambres 1 et 3 et dans 2, et le tiroir à cloisons multiples redescend. L'ensemble a alors repris la position I.

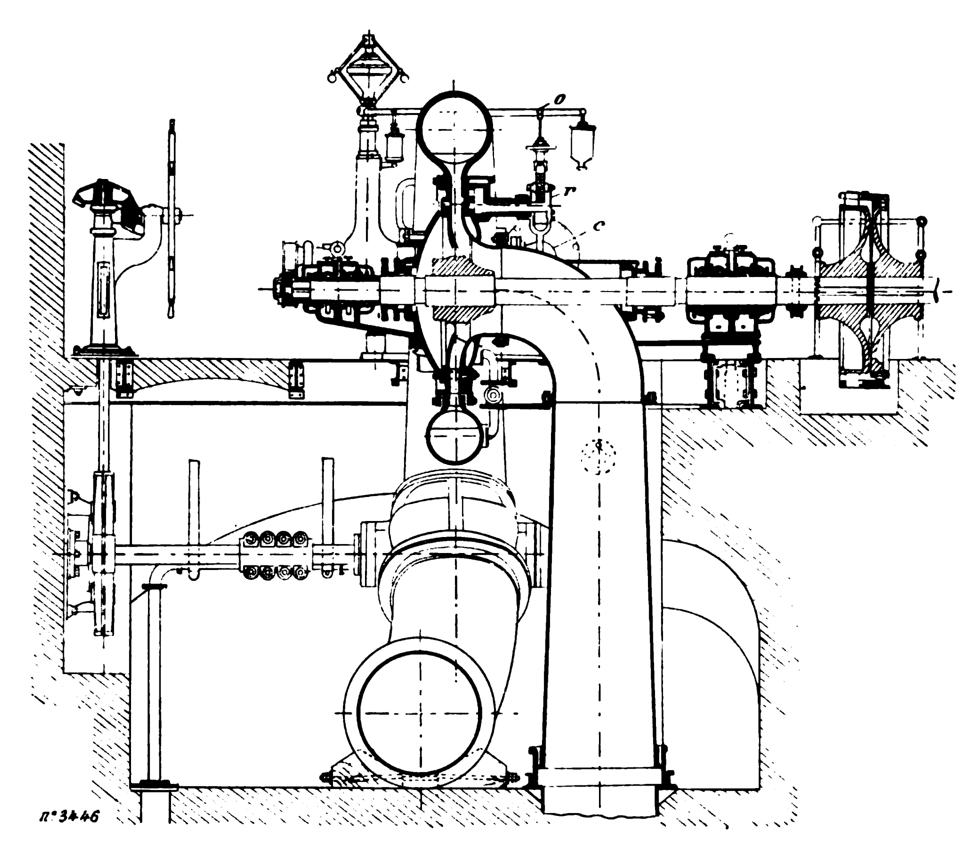


Fig. 3. — Régulateur servo-moteur hydraulique de Ganz et Cie.

Si, au contraire, la vitesse avait diminué, tout se serait passé d'une manière analogue,

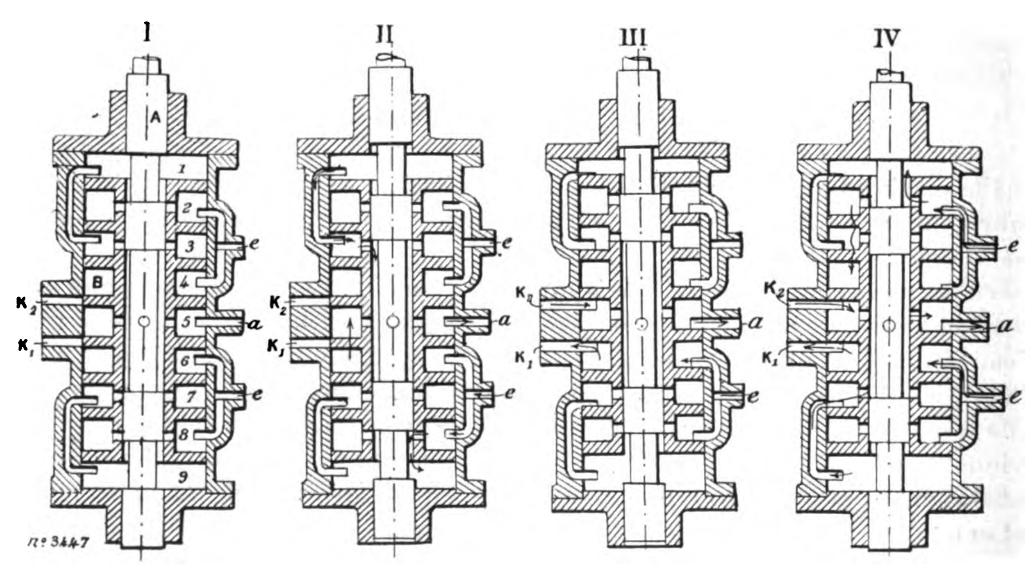


Fig. 4. — Distributeur du servo-régulateur.

mais le tiroir à cloisons multiples aurait été déplacé vers le bas, et l'eau aurait été envoyée au cylindre de réglage C, par l'orifice K_2.

J. Reyval.

APPEL DIRECT DARDEAU POUR UNE LIGNE A POSTES MULTIPLES

On connaît les avantages des postes téléphoniques à appel pendulaire. Une ligne équipée avec

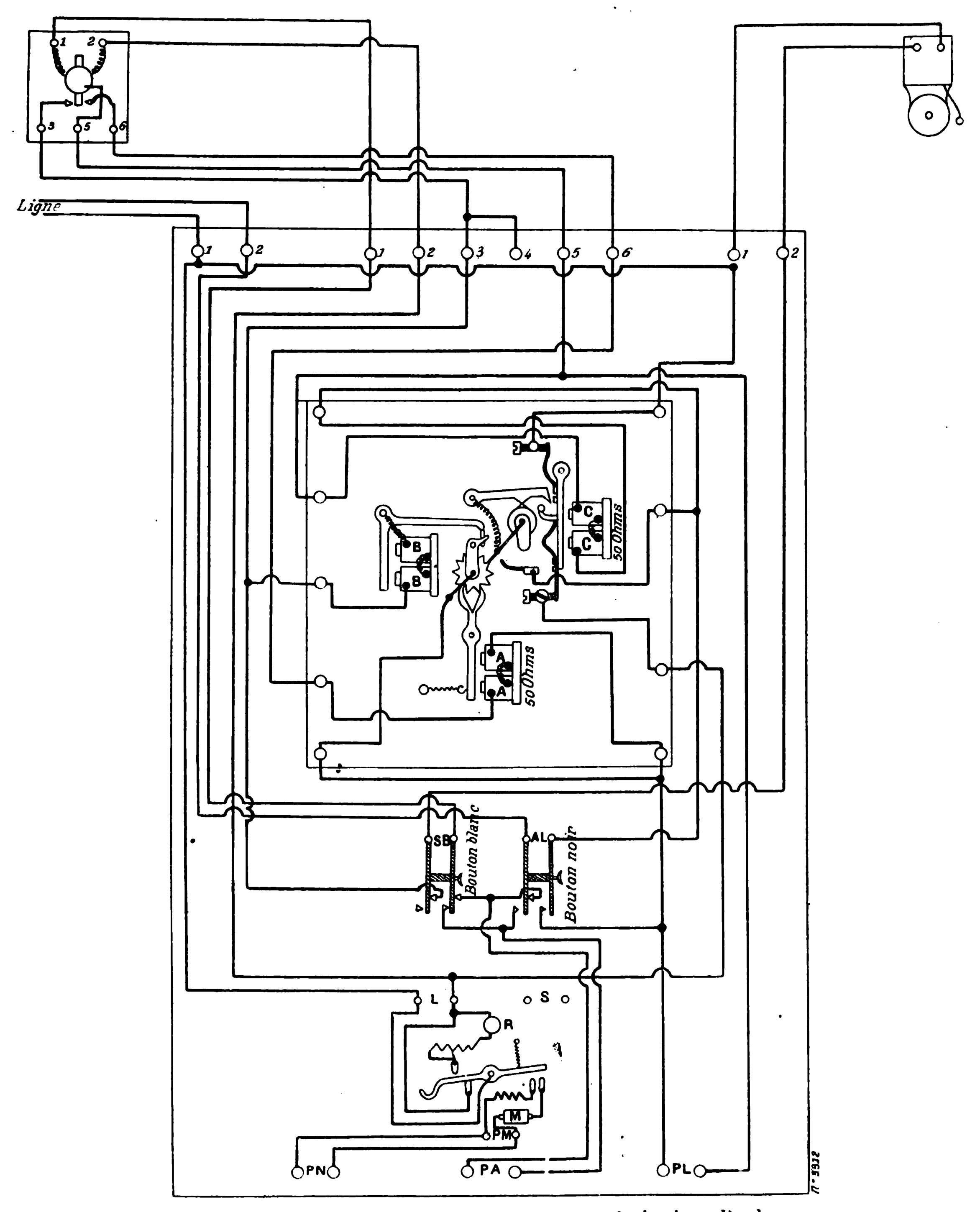


Fig. 1. — Schéma des connexions d'un poste téléphonique Dardeau.

ces postes permet à deux quelconques de ceux-ci, embrochés en série, de converser entre eux sans l'intermédiaire des autres. Tels sont par exemple les postes Dardeau déjà décrits dans ce journal [1] et dont la figure 1 nous donne le schéma. Néanmoins, tous les postes d'une même ligne de chemin de fer ou de tramways mécaniques n'ont pas les mêmes besoins au point de vue téléphonique. Certains d'entre eux, par exemple un dépôt et un terminus de ligne servant de garage aux voitures, ont besoin d'être en communication permanente tout en étant capables d'appeler les autres postes de la ligne ou susceptibles d'être appelés par eux.

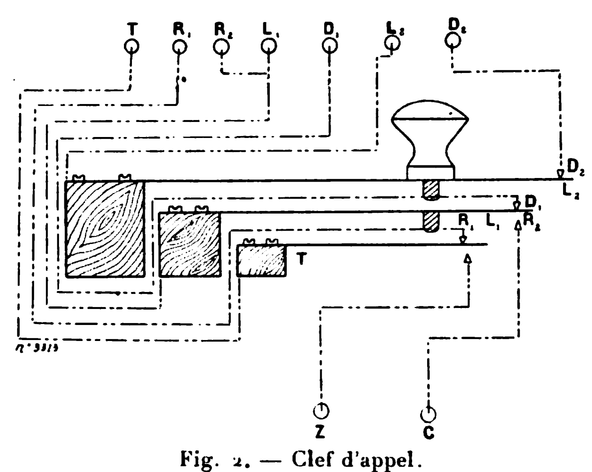


Fig. 2. — Clef d'appel.

En vue d'économiser l'installation d'une ligne spéciale entre ces deux postes particuliers et d'appareils de réseau, distincts de la ligne générale et des appareils pendulaires qui la desservent, on peut adopter le dispositif représenté par la figure 2, qui est du reste en usage sur les lignes

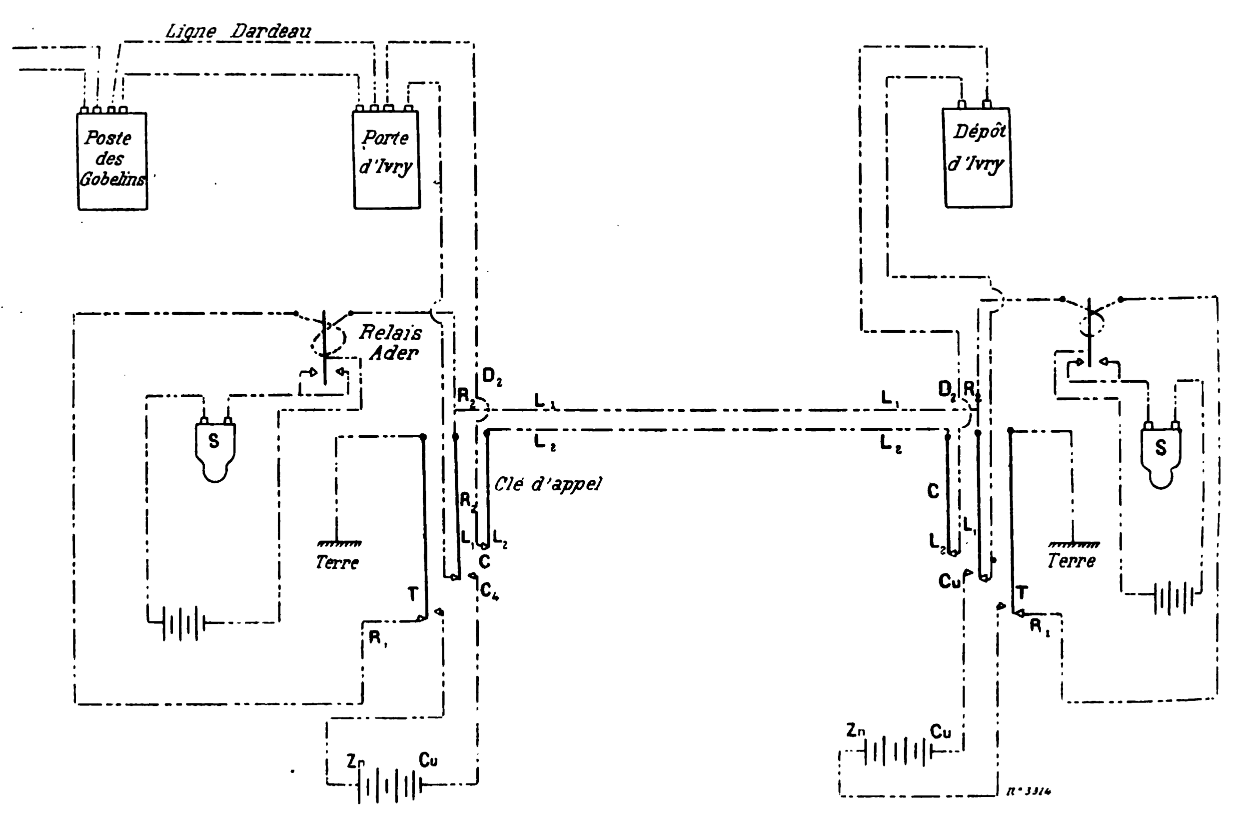


Fig. 3.

téléphoniques privées de la Compagnie Générale des Omnibus de Paris. Ces lignes sont équipées en postes du système Dardeau, mais la nécessité de communications téléphoniques très nombreu-

[1] *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 277, 26 mai 1900.

ses entre les dépôts de traction mécanique et leurs terminus-garages a motivé l'emploi du dispositif ci-dessus décrit.

Au moyen d'une clef spéciale C (fig. 2) et d'un relais Ader ordinaire montés dans chacun des deux postes en question, ceux-ci peuvent s'appeler directement. Il suffit à l'un des postes, pour appeler le second, d'appuyer sur la clef C. Le schéma de la figure 3 montre l'application du dispositif à une ligne téléphonique de postes Dardeau partant d'Ivry et aboutissant à la place du Théâtre Français en passant par onze postes intermédiaires. Les deux postes téléphoniques de cette ligne installés au dépôt d'Ivry et au garage de la porte d'Ivry sont munis d'un appel direct.

La même disposition est applicable à trois postes A B C, dont l'un A peut avoir à causer constamment soit avec B soit avec C, et inversement. Les appels s'effectuent entre A et B d'une part, B et C d'autre part, au moyen de courants de sens contraires.

L. Barbillion.

MESURES PRÉCISES DES COURANTS ALTERNATIFS
ET POLYPHASÉS [1]

Voici plusieurs années que je m'occupe de ce sujet, et j'ai aujourd'hui l'honneur de faire connaître au Congrès international d'Electricité les résultats de mes expériences et de mes recherches.

Il y a une certaine opportunité à présenter pour la première fois ce travail à Paris : lorsque, il y a à peu près seize ans, je commençai mes études sur les courants alternatifs, le livre classique sur la matière était le Traité bien connu de MM. Mascart et Joubert : ces savants employaient les instruments électrostatiques, le professeur Mascart ayant combiné son électromètre bien connu d'après celui de Lord Kelvin ; et depuis il y a toujours eu en France une tendance à employer les instruments et les méthodes électrostatiques.

A peu près à la même époque paraissaient les remarquables travaux de M. Th. Blakesley dans lesquels il montrait l'avantage des méthodes géométriques pour l'étude des problèmes de courants alternatifs, et signalait en même temps la possibilité d'appliquer l'électrodynamomètre comme wattmètre pour les courants alternatifs. Comme on le sait, c'est l'électrodynamomètre qui a été le plus employé jusqu'à présent pour la mesure de ces courants ; et il est juste de dire que la plupart des travaux modernes sur les courants alternatifs sont sortis des observations faites au moyen de cet instrument. Son emploi présente cependant quelques inconvénients et quelques incertitudes et je n'ai jamais pu me débarrasser de la tendance à employer les méthodes électrostatiques, que j'avais tirée des travaux de MM. Mascart et Joubert, bien que j'en aie été parfois tenté. A l'époque dont je parle j'ai construit un électromètre qui était à peu près l'intermédiaire entre le type de Lord Kelvin et celui de M. Mascart, et, tout en reconnaissant parfaitement ses imperfections, néanmoins le parti que je pus en tirer pour la mesure des courants alternatifs me convainquit de l'avantage du principe de ces mesures, de telle sorte que je n'ai jamais pu me défaire du désir de posséder une méthode générale de mesure des courants alternatifs fondée sur les principes électrostatiques. Je ne parlerai pas ici des détails de ce travail, de ses échecs, de ses difficultés. Il me suffit de dire que je n'ai jamais désespéré, et que, pendant les trois ou quatre dernières années, le succès ne s'est jamais démenti, et a abouti à la méthode et aux appareils que je me propose maintenant de décrire.

Le point principal qui m'avait frappé depuis plusieurs années était la nécessité de considérer la question comme un ensemble.

---

[1] Communication faite au Congrès international d'Électricité de 1900.



Examinons pour un instant les éléments du problème. Lorsque l'on mesure les courants alternatifs, il faut faire attention à ce fait que, lorsqu'il y a inductance ou capacité dans le circuit (comme cela a lieu généralement) le courant dépend de trois facteurs :

1° La résistance du circuit et l'énergie qui s'y dépense ;

2° L'inductance du circuit ;

3° La capacité du circuit ;

Les effets de l'inductance et de la capacité étant exactement opposés en phase se contrebalancent l'un l'autre autant qu'il est possible, le facteur le plus grand prédominant, de sorte que la phase du courant correspondant sera de 90° en arrière ou en avance du courant énergétique, suivant que la self-induction ou la capacité du circuit domine. Ce courant, composé avec le courant énergétique, produit un courant résultant qui est le courant réel existant dans le circuit, et que je préfère appeler le *courant total* plutôt que le *courant apparent ;* ce courant, évidemment, ne sera pas en phase avec l'une ou l'autre de ses composantes.

Afin de mesurer les composantes d'un courant de cette espèce, il est nécessaire d'adopter un principe qui permettra de distinguer le courant de self-induction et le courant de capacité, quel que soit celui des deux qui prédomine, afin de pouvoir le séparer du courant énergétique soit par une mesure directe soit par le calcul.

D'après cela, il existe plusieurs principes sur lesquels on peut fonder des méthodes de ce genre.

En exécutant les mesures, on rencontre cependant certains inconvénients inhérents à la plupart de ces principes et, par une sorte de survivance du meilleur, l'un d'eux, celui du wattmètre, est arrivé à être presque universellement employé. Par de légères modifications, ma méthode et mes instruments peuvent être employés pour des mesures effectuées d'après l'un quelconque de ces principes, mais comme celui du wattmètre est presque toujours préférable pratiquement, j'adapterai ma description à celui-ci.

En supposant donc que l'on emploie le principe du wattmètre, il y a trois mesures à effectuer pour obtenir les facteurs fondamentaux d'un courant alternatif. Lorsque ces facteurs sont connus, on peut en déduire les autres caractéristiques du courant.

On doit mesurer :

1° Les volts appliqués ;

2° Les ampères apparents ou, comme je préfère les appeler, les *ampères totaux ;*

3° Les ampères ou les watts effectifs ; (si l'on mesure directement les watts effectifs, et si l'on connait les volts appliqués, on peut en déduire directement les ampères effectifs).

Connaissant ces quantités, nous pouvons en déduire directement le facteur de puissance, l'angle de phase, et le courant magnétisant ou de capacité, ou leur différence si tous les deux existent. S'il y a inductance et capacité, nous pouvons, en mesurant la capacité et utilisant les données précédentes, trouver l'inductance. Si nous connaissons la fréquence et la capacité, nous pouvons obtenir, toujours avec les données précédentes et sans autre observation, le coefficient de self-induction du circuit et ses autres caractéristiques.

Tel est le problème général. Ma première idée fut d'employer un voltmètre électrostatique ordinaire pour mesurer les volts et un électrodynamomètre Siemens pour mesurer les ampères ; en effet, bien qu'il soit très important de connaître les ampères totaux parcourant le circuit, il n'est pas aussi important de les mesurer avec la même précision que les volts et les watts ; de plus l'électrodynamomètre est un instrument plus simple et plus exact quand il est employé comme ampèremètre que quand il est employé comme wattmètre. Par suite, dans mes premiers travaux, j'ai consacré tous mes efforts à imaginer un wattmètre électrostatique convenable et un moyen pour l'étalonner. Mais, lorsque j'eus atteint ce but, je vis qu'il serait très désirable de pouvoir étalonner le voltmètre et l'ampèremètre par la même méthode que le wattmètre, à de légères modifications près, et de faire les lectures de la même manière ; et je vis aussi que si je pouvais atteindre ce but, l'ensemble des instruments pourrait être combiné de façon à permettre les mesures entre des limites plus étendues qu'il n'eût été possible autrement.



Pour transformer l'électromètre en wattmètre, j'ai introduit dans le circuit à étudier une résistance non inductive aux bornes de laquelle sont attachés les quadrants, tandis que l'aiguille communique avec l'autre côté du circuit. En arrangeant l'instrument de cette manière, et le calibrant d'une manière convenable, il est possible, dans des conditions déterminées, de faire de l'électromètre un wattmètre à lecture directe.

Ayant nécessairement dans le circuit la résistance mentionnée ci-dessus, il est clair que s'il était possible de faire un voltmètre électrostatique suffisamment sensible pour mesurer la faible différence de potentiel aux deux extrémités de cette résistance, un tel instrument, ainsi employé, deviendrait une forme très commode d'ampèremètre : je décrirai plus loin comment j'ai réussi à le réaliser.

Je décrirai aussi plus loin la forme de voltmètre électrostatique que j'ai employée pour lire les volts appliqués.

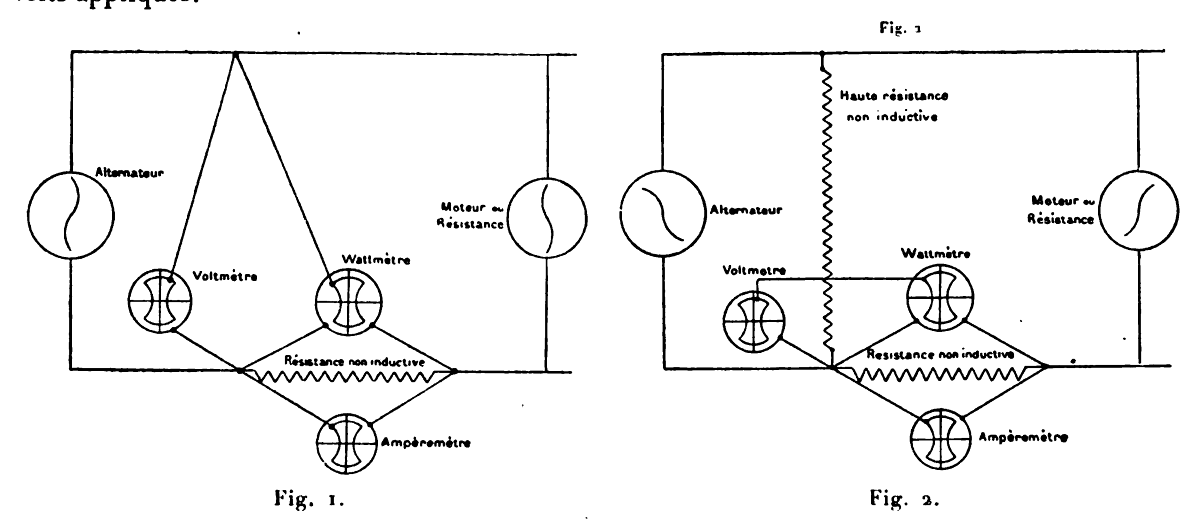


Fig. 1. Fig. 2.

L'arrangement théorique des instruments disposés sur un circuit où l'on veut faire simultanément les trois mesures fondamentales est représenté dans la figure 1.

Je puis dire que j'ai pu obtenir dans l'instrument employé comme ampèremètre une sensibilité telle qu'il est possible de faire de bonnes lectures avec une chute de 1 à 2 volts dans la résistance non inductive insérée dans le circuit. En pratique, je dispose mes instruments de telle façon que la résistance non inductive intercalée dans le circuit cause une chute de tension d'environ 1,5 volt en moyenne, ce qui est aussi très convenable pour le wattmètre. Cette chute de tension est commode, parce qu'elle est à peu près égale à la force électromotrice de l'élément Clark qui est employé pour étalonner les instruments, et par conséquent les lectures se rapprochent de la partie de l'échelle pour laquelle les instruments sont étalonnés. Pour obtenir ce résultat, c'est-à-dire pour obtenir toujours une bonne déviation sur l'instrument, j'emploie une série de résistances non inductives formées de bandes de manganine. En pratique, ces bandes ont environ 1 m de long; il est commode de commencer par un fil ou une bande pouvant supporter 1 ampère, puis de faire la suivante pour 2 ampères, la troisième pour 4 ampères, de telle sorte que dix bandes environ suffiront, en général, pour tous les courants employés dans la pratique. Bien entendu, pour des cas spéciaux, on peut faire des résistances plus élevées ou plus faibles, et, puisque les instruments ne prennent que des courants infiniment petits, la même série d'instruments pourra mesurer des courants variant de 1/1000 jusqu'à 1 000 ampères ou plus avec une erreur relative constante et, par conséquent, les instruments sont pratiquement universels, à ce point de vue, au moins d'une manière approximative. En arrangeant ces résistances de manière à pouvoir les placer en parallèle, on peut, si on le désire, travailler toujours avec la même déviation des instruments.

En ce qui concerne les courants à haute tension, il y a deux manières de procéder. Les instru-

****

ments eux-mêmes peuvent être construits de façon à être mis directement sur le circuit à haut voltage, et ma première idée a été de les employer ainsi. Il y a cependant des difficultés considérables à étalonner directement les instruments pour de hauts voltages, et je préfère, pour les usages ordinaires, procéder comme l'indique la figure 2.

Les instruments eux-mêmes sont étalonnés pour travailler sur des circuits de 100 à 200 volts et, pour de plus hautes tensions, une haute résistance non inductive est placée aux bornes du circuit, et les instruments sont placés en dérivation sur une fraction connue de cette résistance, cette fraction étant choisie de manière à donner 100 ou 200 volts aux bornes de l'instrument. Ces résistances se font facilement et peuvent être employées pour un voltage quelconque sans introduire d'erreur appréciable ; employé de cette façon, le même ensemble d'instruments devient pratiquement universel par rapport aux tensions comme par rapport aux courants.

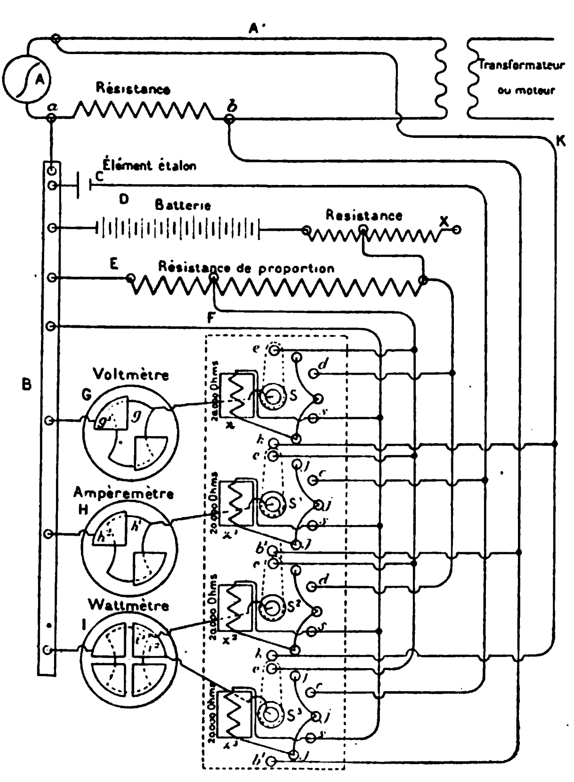


Fig. 3.

Tels sont, dans leurs lignes générales, les principes d'après lesquels j'ai travaillé. Pour mettre ces principes en pratique, il fallait étudier une méthode complète d'application, ainsi qu'un ensemble d'appareils, d'instruments et d'autres accessoires. Il reste maintenant à décrire cette méthode, et le dessin de l'appareil et des instruments, et de montrer comment ils sont employés et appliqués pour le but que nous avons en vue.

La figure 3 est un diagramme montrant la méthode employée pour effectuer les connexions des instruments dans un circuit sur lequel on veut faire des mesures, et la même figure donne le diagramme de la méthode employée pour l'établissement des instruments, ainsi que les arrangements des commutateurs qui permettent de faire les différentes connexions : ceci s'obtient en tournant simplement certaines clefs, une fois les appareils mis en place.

Dans le diagramme, A indique l'alternateur fermé sur un circuit principal A' sur lequel est placée la résistance non inductive *ab* mentionnée ci-dessus. Du point *a* part une connexion jointe à une barre omnibus ou commune, à laquelle aboutissent un certain nombre des circuits mentionnés ci-dessous. Le meilleur arrangement se fait dans l'ordre suivant :

C est un étalon Clark ; D est une batterie suffisante pour donner un voltage plus élevé que celui qui est nécessaire pour étalonner les instruments. J'estime qu'une batterie de petits accumulateurs est très commode pour cet objet ; si l'on n'a pas une telle batterie à sa disposition, les instruments peuvent être étalonnés en faisant usage d'un circuit d'éclairage, pourvu que l'on ait soin de faire les lectures à une tension semblable, ce qui peut être observé en mettant un voltmètre sur le circuit d'éclairage pendant que l'on fait les lectures au wattmètre. X est une résistance variable en série avec la batterie, E est une boîte de bobines de résistance arrangée de façon qu'une résistance de 100 000 ohms est toujours maintenue entre ses extrémités ; mais au moyen d'un contact mobile, une troisième connexion peut être faite en un point quelconque de cette résistance.

Les extrémités extérieures de cette résistance E que j'appelle *résistance de proportion* communiquent avec la barre commune et avec la résistance X, de façon que la résistance de proportion

forme un shunt sur la batterie et la résistance X. Supposons que la force électromotrice de la batterie soit de 105 volts : en faisant varier convenablement la résistance X, nous pouvons nous arranger de façon qu'il y ait exactement 100 volts entre les extrémités de la résistance de proportion E ; nous pouvons alors, en plaçant le contact de la résistance de proportion en un point convenable, obtenir exactement un voltage quelconque entre 0 et 100 volts. F est un court-circuit entre la barre B et les plots *s* des commutateurs décrits ci-dessous par lequel un quelconque des instruments peut être mis en court-circuit et son zéro vérifié. G est un voltmètre électrostatique muni d'un commutateur S ; H est un ampèremètre muni d'un commutateur S^1, et I est un wattmètre muni de deux commutateurs S^2 et S^3. Le commutateur S du voltmètre a quatre directions *e*, *d*, *s* et *k* ; le plot *s* met l'instrument en court-circuit, comme on l'a vu ; le plot *d* le met en rapport avec la batterie D ; le plot *e* avec la résistance de proportion E, de telle sorte qu'une partie déterminée ou une fraction de la résistance totale peut être mesurée à part, et qu'un voltage quelconque, dans les limites de la force électromotrice de la batterie, peut être appliqué à l'aiguille *g* du voltmètre G, le quadrant g^1 communiquant avec la barre B. Par ce moyen, le voltmètre peut être gradué sur toute la longueur de son échelle, comme on l'explique plus bas ; le plot *k* sert à mettre l'aiguille *g* en relation avec le circuit K sur lequel les mesures doivent être faites.

Le commutateur S^1 de l'ampèremètre est, de même, muni de quatre plots *e*, *c*, *s* et b^1. Le plot *e* met l'aiguille en relation avec la résistance de proportion E pour la porter à un potentiel quelconque, et permet ainsi de calibrer l'instrument dans toute l'étendue de son échelle. Le plot *c* met l'aiguille h^1 en communication avec la pile étalon C, le quadrant h^2 étant en communication avec la barre B ; le plot *s* sert à court-circuiter l'instrument ; et le dernier plot b^1 met en rapport l'ampèremètre avec le circuit principal A' à l'extrémité de la résistance non inductive mesurée *ab*.

Le wattmètre a une double série de plots : l'une *e*, *d*, *s*, *k* pour le commutateur S^2 exactement semblable et avec les mêmes connexions que pour le voltmètre G ; l'autre, correspondant au commutateur S^3, comprend un plot *e* permettant de mettre le quadrant i^2 en relation avec la résistance de proportion E comme plus haut ; un plot *c* pour le mettre en relation avec la pile-étalon, exactement comme pour l'ampèremètre H ; un plot *s* pour court-circuiter les quadrants de l'instrument ; un plot b^1 pour le mettre en communication avec l'extrémité *b* de la résistance non inductive mesurée dans le circuit principal, comme il est décrit pour l'ampèremètre H. Le commutateur S^2 met en rapport l'aiguille i^1 avec la première série de plots *e*, *d*, *s* et *k*, comme il est indiqué dans la figure 1, et le commutateur additionnel S^3 met en rapport les quadrants du wattmètre i^2 avec la seconde série des plots *e*, *c*, *s*, b^1.

Lorsqu'on fait passer les instruments d'une série de connexions à une autre, il est très désirable d'avoir un moyen de les mettre séparément en court-circuit à travers une haute résistance d'environ 20 000 ohms pendant que l'opération s'effectue, autrement les quadrants doivent être laissés isolés pendant un certain temps, ce qui pourrait amener de violentes déviations de l'aiguille, à cause de charges sur l'ébonite ou sur d'autres surfaces voisines qui autrement seraient difficiles à éviter. On y a pourvu dans chacun des commutateurs au moyen de contacts intermédiaires mis en rapport, comme on le voit sur la figure, avec des bobines d'une résistance d'environ 20 000 ohms, une pour chaque série des contacts de commutateurs, comme on le voit en z, z^1, z^2, z^3.

Arrivons maintenant aux instruments eux-mêmes. Ils sont électrostatiques et sont tous construits sur un même type, ce qu'on pourra mieux voir en se reportant aux dessins ci-dessous. Le premier (fig. 4) montre une vue de face du principal d'entre eux, le wattmètre ; on peut noter ici que cet instrument remplira aussi les fonctions d'un voltmètre et d'un ampèremètre (ou voltmètre à basse lecture), en changeant simplement la suspension de l'aiguille et en ajustant convenablement les quadrants, ainsi qu'il est décrit ci-dessous. L'instrument représenté est muni d'un très haut isolement, pour qu'il puisse être employé à la mesure de hautes résistances, de capacités, etc. Mais un si grand isolement n'est pas nécessaire lorsque l'instrument est employé pour mesurer simplement des courants et, dans ce cas, bien que la construction générale reste la même, on peut y apporter quelques simplifications ; de plus, lorsque l'instrument doit être employé seulement



comme ampèremètre, c'est-à-dire comme voltmètre électrostastique sensible, ou lorsqu'il est employé comme voltmètre pour 100 ou 200 volts, d'autres simplifications peuvent être apportées. La figure 5 donne une coupe du wattmètre.

L'arrangement général des instruments a été choisi de manière à les rendre aussi pratiques que possible à l'usage, tout en assurant l'exactitude. La suspension consiste généralement en bandes de bronze phosphoreux, du genre de celles qui ont été employées par MM. Ayrton et Perry, et de ce qui est si généralement employé pour le galvanomètre d'Arsonval. On a ainsi une excellente communication avec l'aiguille, de sorte qu'il est inutile d'employer l'acide sulfurique. De plus, en employant une aiguille particulièrement légère, je trouve qu'il est possible d'avoir un décrément suffisant sans autre forme d'amortissement et que, par conséquent, l'aiguille peut être

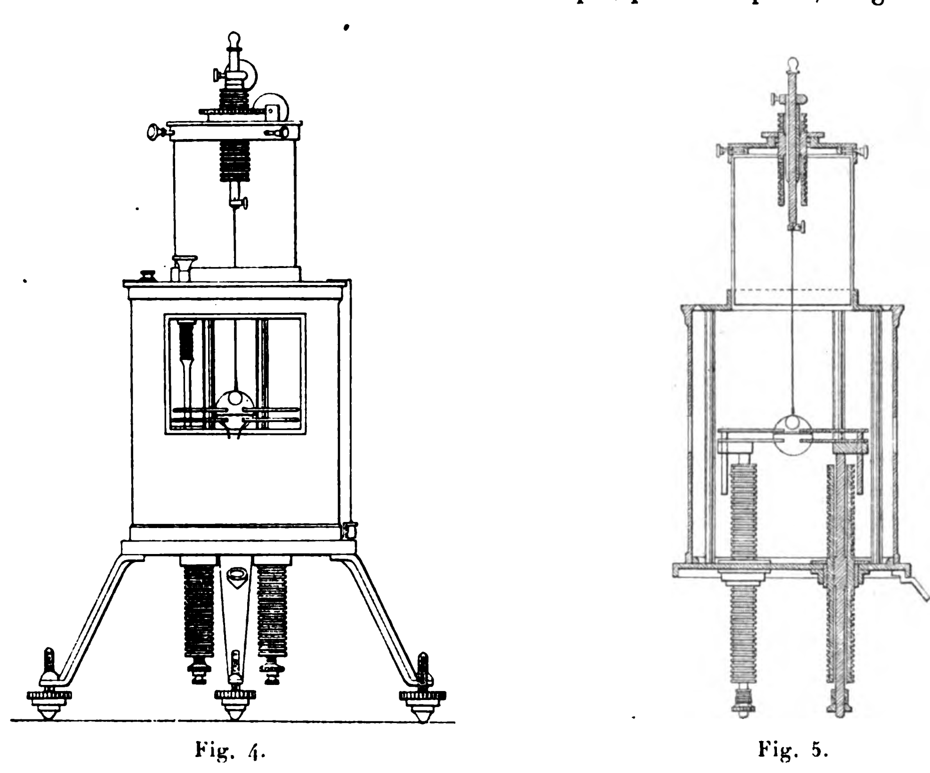


Fig. 4. Fig. 5.

suspendue librement dans l'air, et rien ne peut interférer avec son mouvement propre. Cependant, je puis aussi employer avec succès un amortisseur lorsqu'il est nécessaire de faire des lectures rapides. Il est à remarquer que les quadrants n'ont pas la forme d'une boite, comme c'est généralement le cas, mais consistent en deux séries de plateaux plats, dont l'une (généralement la supérieure) est réglable, et peut même être tout à fait séparée si on le désire. Ce simple progrès, bien qu'il n'ait pas de rapport avec le fonctionnement de l'instrument, augmente beaucoup les limites de son emploi et facilite son réglage et son transport : en fait, c'est l'équivalent de l'adjonction d'un shunt universel à un galvanomètre. On remarquera que l'aiguille peut être déplacée verticalement au moyen d'un mouvement à crémaillère, et peut être mise ainsi au centre des quadrants, quelle que soit la position des plateaux supérieur et inférieur. Pour de hautes tensions, le plateau supérieur peut être tout à fait enlevé et l'aiguille éloignée à quelque distance des quadrants inférieurs. D'autre part, l'aiguille peut être abaissée tout près des quadrants inférieurs et les quadrants supérieurs peuvent être aussi abaissés jusqu'à ce que l'espace intermédiaire ne dépasse pas 1 mm. Dans ces circonstances, une déviation de 50 mm à 100 mm, avec l'échelle à une distance de 2 m, peut correspondre, avec la bande de suspension la plus sensible, à une tension de 1 volt lorsque l'instrument est employé à la manière idiostatique ou comme simple voltmètre, et c'est sous cette

forme que l'instrument peut être employé comme ampèremètre, en le mettant en communication avec les deux extrémités d'une résistance présentant une chute de tension de 1 ou 2 volts, comme il a été dit plus haut. Si nous prenons cet ampèremètre comme instrument fondamental, le wattmètre correspondant doit avoir une suspension moins sensible, et doit être employé avec les quadrants plus écartés. En fait, il doit avoir à peu près $\frac{1}{100}$ de la sensibilité de l'ampèremètre.

Le voltmètre doit être encore beaucoup moins sensible, cette réduction de sensibilité étant obtenue par l'emploi d'une série seulement de quadrants et d'une bande de suspension beaucoup plus épaisse et plus courte ; dans ce dernier cas, à cause de la grandeur du couple, il vaut mieux réduire la période en amortissant avec de l'huile. Dans chacun des instruments, en ôtant un ou plusieurs des quadrants supérieurs et en dévissant la vis centrale de la partie supérieure de l'appareil, cette partie peut être enlevée, entraînant avec elle l'aiguille que l'on peut ainsi changer facilement. Pour le transport, il est simplement nécessaire de faire reposer l'aiguille sur le quadrant inférieur, et les quadrants supérieurs sur l'aiguille, ce qui la serre fortement, si bien que

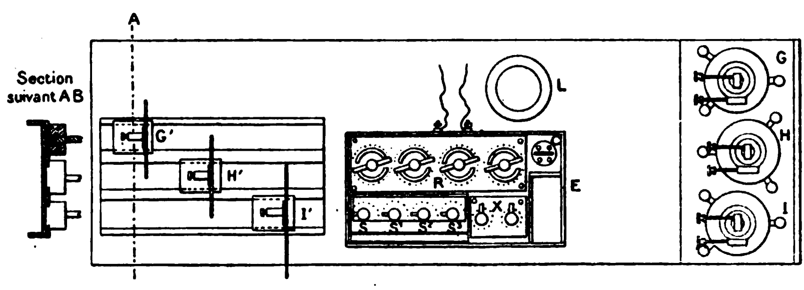


Fig. 6.

l'instrument peut être secoué ou renversé sans qu'il en résulte aucun dommage. Les aiguilles étant plates et très légères ne sont que très légèrement affectées par les vibrations, de sorte que les instruments peuvent être employés dans les étages supérieurs et dans le voisinage des machines. En pratique, il est bon de mettre dans le circuit de chaque aiguille une lampe de 250 volts et de 5 bougies. Je trouve que cela vaut mieux que n'importe quel fil fusible, puisque le courant qui peut ainsi passer à travers l'instrument est trop petit pour endommager la bande de suspension ou l'aiguille, et qu'en même temps l'allumage de la lampe donne un avertissement instantané si par hasard l'aiguille vient toucher les quadrants.

Une bonne manière d'arranger les instruments pour la mesure des courants alternatifs est indiquée par les diagrammes ci-dessous (fig. 6 et 7) dont l'un est un plan, l'autre une élévation.

Les lectures se font par réflexion, et les échelles sont à une distance de 2 m environ des instruments.

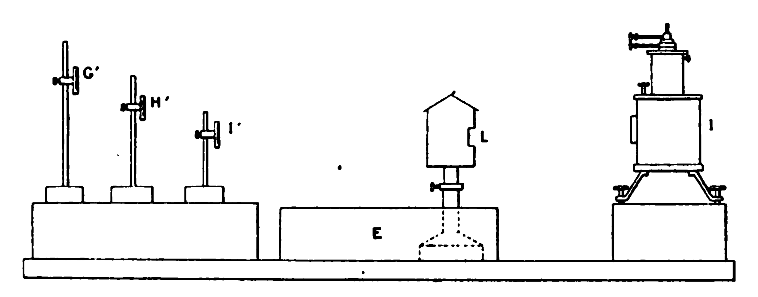
En supposant les instruments ainsi disposés, à l'aide des appareils d'étalonnement, on établit des déviations approximativement égales à celles qu'ils sont destinés à donner pour des voltages donnés des quadrants et des aiguilles respectivement. La sensibilité requise est alors obtenue approximativement en faisant varier la distance des plateaux supérieurs et inférieurs dans deux des instruments et la distance de l'aiguille au plateau inférieur dans le voltmètre jusqu'à ce que l'on ait obtenu, à très peu près les déviations voulues. Il faut remarquer de plus que les échelles elles-mêmes sont placées sur des supports glissants, et que l'ajustement final s'obtient en rapprochant ou éloignant les échelles des instruments jusqu'à ce que les voltages donnés produisent des déviations déterminées sur les échelles. De cette façon les instruments peuvent être gradués respectivement en watts, en volts et ampères.

Pour étalonner les instruments, ce qui se fait très rapidement, nous procédons comme il suit :

1° Mettre tous les instruments en court-circuit, placer les échelles à peu près au centre de leur étendue de lecture, et ajuster l'image au zéro de chaque échelle. Puis tourner le commutateur de



l'aiguille du vattmètre pour mettre cette aiguille en communication avec la batterie, les quadrants restant en court-circuit : observer s'il y a quelque déviation : s'il y en a une, changer le quadrant ajustable en tournant le bouton d'ébonite jusqu'à ce que l'aiguille ne soit plus déviée lorsque la batterie est reliée ou séparée. Laissant alors la batterie en connexion avec l'aiguille (ce qui donnera une tension un peu supérieure à 100 volts) déplacer le commutateur relié à une paire de quadrants de manière à relier ces quadrants à un pôle de l'étalon Clarke ; observer la déviation qui doit être au moins de 150 mm. S'il n'en est pas ainsi, changer l'échelle ou augmenter la sensibilité de l'instrument· Placer alors la résistance de proportion à 1440, ce qui correspond à la force électromotrice de l'étalon Clarke (en supposant que la résistance totale est de 100 000 ohms, que la différence de potentiel entre ses extrémités est de 100 volts, et que la force électromotrice de l'étalon Clarke est 1,44). Tourner maintenant le commutateur des quadrants de façon que les quadrants soient en relation avec l'extrémité positive de la résistance de proportion au lieu de



Fig, 7.

l'être avec le pôle positif de l'étalon ; observer de nouveau la déviation. Si elle est plus grande qu'auparavant, la résistance X doit être changée afin d'introduire une résistance plus élevée dans le circuit de la batterie ; si elle est moindre, la résistance X doit être diminuée. La résistance X peut être facilement ajustée après deux ou trois essais, de façon que la déviation demeure la même, soit que l'électromètre communique avec l'élément Clarke, soit qu'il communique avec le point de contact de la résistance de proportion. Il est évident que, dans ces circonstances, la différence de potentiel entre les extrémités de la résistance de proportion doit être de 100 volts. Nous connaissons ainsi le voltage de l'aiguille et des quadrants, ce qui donne les facteurs nécessaires pour obtenir la constante de l'électromètre. Si l'échelle est graduée en millimètres, il est alors facile d'ajuster l'instrument et la distance de l'échelle de façon à ce que la lecture soit de 144 mm. Cela étant, si les quadrants communiquent avec les deux extrémités d'une résistance connue en ohms et fractions d'ohm, insérée dans un circuit, et si l'aiguille communique avec l'autre côté de ce circuit, en admettant que la chute de tension ne soit pas très inférieure à 100 volts, l'instrument donne directement la puissance en watts, à condition de multiplier les lectures par l'inverse de la résistance ; si ces résistances sont mesurées par leur conductibilité, il nous suffira de multiplier les lectures pour cette conductibilité de façon que l'instrument devient un wattmètre à lecture directe d'une étendue presque universelle. Ayant ainsi obtenu exactement 100 volts aux deux extrémités du circuit de la batterie, le calibrage de l'électromètre pourra s'obtenir dans toute l'étendue de son échelle en faisant varier le point de contact de la résistance de proportion. On trouve ainsi que l'échelle est proportionnelle à moins de 1/2 p. 100 au-dessus de 200 mm. et 1 p. 100 au-dessus de 300 mm. On peut observer que, en calibrant l'instrument dans les conditions exactes de l'usage, nous évitons la nécessité de l'emploi d'une formule de déviation.

2° Pour graduer le voltmètre il suffit de le mettre en communication avec les extrémités de la résistance de proportion, puisque la différence de potentiel entre ces extrémités est exactement 100 volts. La sensibilité de l'instrument sera alors ajustée en élevant ou en abaissant l'aiguille et en déplaçant l'échelle en avant ou en arrière de façon que, l'instrument étant ainsi rélié, la déviation soit de 100 divisions sur l'échelle. L'instrument peut être calibré pour une lecture inférieure



à celle lue sur l'échelle en changeant le point de proportion de la quantité voulue ; mais les lectures sont presque exactement proportionnelles à une échelle calculée théoriquement.

3° Le voltmètre sensible électrostatique, qui est employé comme ampèremètre, est calibré en le mettant en rapport directement, au moyen de son commutateur, avec les pôles de l'élément Clarke, ou avec les points correspondants sur la résistance de proportion, et cet instrument peut aussi être calibré dans toute son échelle en employant cette résistance de proportion. Cependant, à cause de sa délicatesse et de sa construction, l'échelle de cet instrument n'est pas aussi proportionnelle que dans le cas des deux autres, et par conséquent il est bon de lui construire une échelle, en mettant la résistance de proportion aux points voulus, et en notant les déviations correspondantes. Ceci peut être fait rapidement, et une fois l'échelle construite, l'instrument peut être ajusté pour lire exactement, comme on l'a fait pour les autres.

Les instruments sont maintenant tous calibrés, et il ne reste plus qu'à tourner les commutateurs vers les connexions de circuit, pour qu'ils donnent des lectures directes sur un circuit quelconque avec lequel on peut les relier, la lecture du voltmètre étant naturellement multipliée par le rapport suivant lequel est divisée la haute résistance aux bornes du circuit (si cette résistance est employée), la lecture de l'ampèremètre étant multipliée par la conductance de la résistance connue intercalée dans le circuit, et la lecture du wattmètre étant multipliée par ces deux facteurs.

Si le circuit n'est pas inductif, les lectures du voltmètre et de l'ampèremètre, multipliées l'une par l'autre, correspondent à la lecture du wattmètre ; s'il est inductif, ce n'est plus le cas ; si nous divisons les watts, donnés par le wattmètre, par les volts, donnés par le voltmètre, nous avons alors les ampères effectifs qui parcourent le circuit. D'autre part, l'ampèremètre nous donne le courant total ou, comme on l'appelle quelquefois, le courant *apparent* qui parcourt le circuit. Le rapport de ces deux quantités nous donne le facteur de puissance, d'où l'on déduit la différence de phase en consultant simplement une table de sinus et de cosinus. Si nous connaissons la fréquence et s'il n'y a pas de capacité, le coefficient de self-induction s'en déduit immédiatement.

Si l'on a un contact tournant actionné par un petit moteur synchrone, il est évident que, à l'aide des instruments ci-dessus, il est aussi facile de faire une série de lectures, d'après lesquelles on peut tracer les courbes de forces électromotrices et d'intensités avec leur avance ou leur retard.

Lorsqu'on a besoin d'une grande exactitude dans les lectures, il est évident que l'on peut prendre une série de lectures sur un circuit quelconque, puis de tourner les commutateurs les uns après les autres sur la résistance de proportion, de manière à reproduire les déviations des instruments. Nous pouvons alors lire directement et sans calcul la force électromotrice continue nécessaire pour produire ces déviations, dioù l'on peut déduire immédiatement la force électromotrice et l'intensité dans le circuit (la résistance aux bornes de laquelle les mesures ont été faites étant connue).

Il est évident que les instruments sont également propres à mesurer des courants continus presque dans une étendue quelconque, de sorte qu'ils forment pratiquement une série universelle d'instruments de mesure, soit pour courants continus, soit pour courants alternatifs. Ils peuvent aussi être employés pour des expériences d'hystérésis et de perméabilité et pour un grand nombre d'autres objets qu'il est inutile de mentionner ici.

N'étant pas affectés par le magnétisme et le champ terrestre, étant dénués des effets d'induction prenant un courant négligeable et enfin pouvant être étalonnés facilement à tout moment, ces instruments, arrangés comme il est décrit ci-dessus, permettent de prendre des mesures avec un haut degré de certitude et de précision ; et à cause de la méthode d'étalonnement, on peut se dispenser tout à fait de formules, de sorte que dans les usines ou les stations centrales, la mesure des courants alternatifs et polyphasés devient très simple.

Pour un système polyphasé dont les circuits peuvent être inégalement chargés, on peut employer deux séries de résistances, et les instruments peuvent passer rapidement de l'une à l'autre, ou bien l'on peut employer deux séries d'instruments, ou bien des instruments particuliers comme le wattmètre peuvent être employés avec une double série de quadrants et une double aiguille, l'aiguille



supérieure étant isolée de l'aiguille inférieure, laquelle recevra sa charge par l'intermédiaire d'un vase rempli d'acide sulfurique. Au moyen des quadrants ajustables, il est facile d'obtenir que les deux aiguilles donnent des déviations égales pour des décharges égales, de sorte que, les deux étant employées ensemble, leurs lectures s'ajoutent. Pour d'autres objets, il est possible de se servir de ce double instrument comme un instrument de zéro, et d'équilibrer un voltage continu connu par un voltage alternatif.

G.-L. ADDENBROOKE.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TÉLÉPHONIE

Constantes acoustiques et optiques du téléphone, par **M. Wien.** *Dr. Ann.* t. IV, p. 450-459, mars 1901.

La netteté avec laquelle parle un téléphone dépend avant tout de l'amplitude relative des différents tons dont se compose la parole : ces divers tons doivent être affaiblis tous dans le même rapport. Le son du téléphone provient des vibrations de la membrane provoquées par les variations d'induction magnétique du noyau; ces variations sont elles-mêmes causées par les courants alternatifs qui circulent dans la bobine. L'étude d'un téléphone doit donc résoudre les questions suivantes : comment varient avec la fréquence : 1° l'intensité du courant à égale force électromotrice ; 2° l'induction magnétique à égale intensité de courant ; 3° l'amplitude des vibrations de la membrane à égale induction magnétique.

L'intensité du courant, pour une force électromotrice donnée, dépend de la résistance et de l'induction propre effectives du téléphone. Ces facteurs varient d'une manière notable avec la fréquence, car par l'effet des courants de Foucault qui se produisent dans le noyau, la résistance de la bobine doit croître et son induction propre décroître quand la fréquence augmente. De même il est à prévoir que l'induction magnétique, toutes choses égales d'ailleurs sera plus petite pour les hautes fréquences parce que les courants de Foucault exercent sur la région centrale du noyau un effet d'écran magnétique. Enfin pour une même force motrice, l'amplitude des vibrations de la membrane passera par un maximum quand la fréquence correspondra à une des périodes propres de cette membrane.

Les sons qui se présentent dans la voix humaine sont compris entre les sons les plus bas qui soient perceptibles (16 vibrations par seconde) et des sons correspondant à environ 10 000 vibrations par seconde.

M. Wien a déterminé entre ces limites les caractéristiques électriques et acoustiques de quatre téléphones.

1° Un téléphone de Bell; 2° un téléphone Siemens et Halske (ancien modèle); 3° un téléphone Siemens et Halske (nouveau modèle); 4° un téléphone à boîte d'Apel, servant à la mesure des pouvoirs inducteurs par la méthode de Nernst.

La transmission de la parole était à peu près de même qualité pour ces quatre instruments : seulement le téléphone d'Apel donnait un timbre un peu nasillard.

Les courants alternatifs à peu près sinusoïdaux sont fournis par la sirène électrique. La résistance et l'induction propre sont mesurées par la méthode de Maxwell dans un réseau de Wheatstone. L'intensité du courant sinusoïdal est maintenue assez faible pour que l'induction magnétique du noyau soit proportionnelle à cette intensité et partant que l'induction propre en soit indépendante. Dans le pont était inséré un électro-dynamomètre de Bellati-Giltay.

Les résultats obtenus sont reproduits dans le tableau ci-joint, dans lequel N désigne la fréquence, R' la résistance en ohms, L' l'induction propre effective en centimètres.

Ces chiffres montrent que la résistance effective croît fortement avec la fréquence, surtout dans le téléphone Siemens nouveau modèle. Le coefficient d'induction propre diminue en même temps et c'est dans le Siemens ancien modèle que cette diminution est le plus accusée.

Si on admet avec Helmholtz que la force élec-



N	BELL.		SIEMENS II		SIEMENS II		APEL	
	R′	L′	R′	L′	R′	L′	R′	L′
0	6,67	—	186,6	—	199,7	—	96,2	—
256	6,90	$3,53.10^6$	238,6	$1,17.10^8$	286,5	$1,93.10.^8$	108,7	$3,73.10^7$
1 000	9,52	3,28 »	422,6	$7,45.10^7$	586,2	1,23 »	159,0	3,08 »
4 000	21,7	2,75 »	963	3,97 »	1 494	$8,87.10^7$	329,7	2,50 »
8 000	33,2	2,42 »	1 275	2,94 »	2 100	6,8 »	482	1,96 »
16 000	37,5	2,16 »	1 457	2,30 »	2 590	5,8 »	609	1,63 »

tromotrice dans le circuit du téléphone est proportionnelle à la fréquence, l'intensité est proportionnelle à

$$\frac{n}{\sqrt{R'^2 + n^2 L'^2}}$$

en appelant $n = 2\pi N$ le nombre d'oscillations qui se produisent en 2π secondes. Tant que L′ est grand vis-à-vis de R′ cette expression est sensiblement indépendante de n, si R′ et L′ en sont eux-mêmes indépendants. Mais comme on vient de le voir, cette dernière condition est loin d'être remplie. Aussi dans le Siemens nouveau modèle l'intensité du ton N = 16 000 est environ 25 fois plus faible que l'intensité du ton N = 256 pour la même intensité du courant alternatif.

L'accroissement de la fréquence exerce donc deux actions contraires : d'une part en augmentant la force électromotrice et en diminuant l'induction propre, d'autre part en augmentant la résistance effective. Jusqu'à quel point ces deux effets contraires se compenseront-ils, cela dépend des propriétés du circuit extérieur.

De toutes façons, cette variation de la force électromotrice a une grande importance, mais moindre cependant que celle des caractéristiques acoustiques du téléphone.

Si la membrane du téléphone ne possédait qu'une période propre unique $\frac{2\pi}{p}$, l'amplitude de ses vibrations en les supposant provoquées par une force sinusoïdale serait en raison inverse de $\sqrt{(n^2 - p^2)^2 + n^2 k^2}$ et aurait pour $p = n$ un maximum plus ou moins accusé, selon la valeur de l'amortissement k. La grandeur de l'amortissement dépend de la membrane elle-même, de son mode d'attache, de la force de l'aimant du téléphone. Des quatre instruments cités, celui de Bell avait le plus petit amortissement.

Si on envoie dans le téléphone le courant de la sirène électrique, en faisant varier peu à peu la période, on reconnaît les périodes propres de la membrane à l'intensité plus forte que prend le son. Suivant le degré d'amortissement les périodes propres de la membrane se signalent soit par un cri du son, soit par une augmentation suivie d'une diminution lente. Les sons graves se distinguent mieux que les sons aigus.

Il existe encore un autre procédé pour déterminer les sons propres de la membrane. Il consiste à mesurer le courant le plus faible qui puisse produire dans le téléphone un son encore perceptible. Ces mesures ont déjà été effectuées à diverses reprises et ont donné des résultats peu concordants. Ces divergences proviennent sans doute de ce que les courants utilisés n'étaient pas rigoureusement sinusoïdaux. En employant le courant de la sirène, M. Wien a trouvé pour le courant minimum qui produisait encore un son perceptible :

N	BELL	APEL	SIEMENS I	SIEMENS II
	amp			
64	$190\,000.10^{-8}$	$5\,000.10^{-8}$	$1\,800.10^{-8}$	$1\,200.10^{-8}$
128	15 000	510	220	150
256	1 050	40	26	13.5
512	150	10	1,7	2,7
720	»	»	1.5	0.8
1 024	18	3.5	3.0	1.35
1 500	30	2.3	6.0	2.4
2 030	130	3,5	0.8	3,0
2 400	—	5,0	2,0	1.0
2 800	70	—	—	—
4 000	230	70	50	30
8 000	2 500	170	700	400
16 000	12 000	1 000	2 200	1 700

D'une façon générale, c'est le téléphone de Bell qui est le moins sensible, par suite de sa faible résistance. Tous les quatre ont une sensi-

bilité particulièrement grande pour les courants dont la fréquence est comprise entre 500 et 3 000 ; de part ou d'autre de ces limites, la sensibilité diminue rapidement. Il est probable que cette diminution rapide tient non pas seulement aux propriétés du téléphone, mais aussi à celles de l'oreille.

Les nombres en italiques représentent des maxima de sensibilité, qui coïncident en général avec les périodes propres de la membrane déterminées par la méthode précédente, d'autant mieux que l'amortissement est plus faible.

Les tons les plus importants de la voix humaine sont compris entre 500 et 3 000 vibrations par seconde, c'est-à-dire dans l'intervalle où les téléphones présentent la plus grande sensibilité. D'autre part, dans ce même intervalle où tombent les sons propres de la membrane, il peut se produire de grandes différences dans la sensibilité pour une variation relativement faible de la fréquence. Par conséquent, l'intensité des tons supérieurs peut être très différente suivant le type d'appareil qu'on emploie.

Dans l'usage du microphone, les sons propres des membranes s'accusent déjà d'une manière très désagréable, sans cependant empêcher la communication, tant pour les voix aiguës que pour les voix graves. Cela s'explique par la sensibilité extrême de l'oreille pour les tons caractéristiques des voyelles et des consonnes ; ces tons sont encore distincts, malgré l'altération du timbre qui résulte forcément des propriétés électriques et acoustiques du téléphone.

M. L.

DÉCHARGE ÉLECTRIQUE

La différence de potentiel explosive est-elle constante ou non? par **K.-R. Johnson**, *Dr. Ann.* t. V, p. 121-136, mai 1901.

Dans un voltamètre relié aux pôles du secondaire d'une bobine, on constate la production de gaz tonnant. Cette décomposition de l'eau acidulée est provoquée par le mouvement oscillatoire de l'électricité qui accompagne le courant de rupture : le courant de fermeture n'exerce aucune action de ce genre.

M. Johnson a effectué des expériences sur ce sujet en employant un transformateur Tesla de construction particulière. Au lieu d'un fil primaire de fort diamètre, il prend six fils de 1 mm de diamètre, enroulés parallèlement en 18 spires : le secondaire est formé par 169 spires du même fil, enroulées sur un cylindre de diamètre intérieur tel que le primaire y entre tout juste. A chaque extrémité du primaire se trouve un condensateur, dont la surface est de 170 cm² environ, en clinquant collé sur de l'ébonite de 0,5 mm d'épaisseur.

Chacun de ces condensateurs communique par l'autre armature avec l'un des pôles de la bobine et l'étincelle est en dérivation sur ces condensateurs. Les extrémités du secondaire de la bobine Tesla sont reliées à des électrodes à la Wollaston qui plongent dans un cristallisoir renfermant de l'eau distillée.

Quand la bobine est mise en marche, on observe un dégagement de gaz sur ces deux électrodes, et ce dégagement est accompagné de petites étincelles. Ce dégagement de gaz dépend beaucoup de la forme des électrodes et de la dissymétrie des liaisons. Les étincelles subsistent quand on ajoute à l'eau quelques gouttes d'acide azotique ; mais disparaissent quand on ajoute l'acide en quantité notable. En même temps la quantité de gaz dégagée diminue et finit par s'annuler. L'allure du phénomène est la même, si au lieu d'acide sulfurique on emploie l'acide azotique.

Une tentative faite dans des conditions analogues en reliant les électrodes aux extrémités d'un résonateur de Hertz n'a donné aucun résultat, quoique les étincelles fussent longues de 5 mm.

Ce résultat négatif s'explique sans doute par la fréquence très élevée des oscillations hertziennes, comme une conséquence du retard à l'électrolyse. On sait, en effet, que l'électrolyse ne commence pas immédiatement quand on ferme le circuit du voltamètre. Il semble que le courant ait besoin de quelque temps pour produire à l'intérieur de l'électrolyte la chute de potentiel nécessaire à l'électrolyse. Si la période des oscillations est inférieure à ce laps de temps, la chute de potentiel en question ne peut s'établir et il n'y a plus d'électrolyse. Quand l'électrolyte est très résistant, la chute de potentiel est assez rapide au voisinage des électrodes pour que le gaz se dégage, en assez grande quantité même pour envelopper l'électrode : le courant est interrompu et une petite étincelle se produit.

Si on ajoute de l'acide, la conductibilité aug-



mente : la chute de potentiel devient moins rapide et la quantité de gaz dégagé diminue : si on accroît encore la proportion d'acide, la chute de potentiel ne peut plus atteindre la valeur nécessaire pour que l'étincelle se produise.

Comme l'électrolyte au voisinage de l'électrode ne peut suivre sans retard les variations de potentiel de celle-ci, ce retard peut, quand les oscillations sont très rapides, supprimer complètement l'effet électrolytique. Les électrolytes doivent donc se comporter vis-à-vis des oscillations très rapides comme des diélectriques et une cuve électrolytique doit présenter une capacité quand on y fait passer ces oscillations : c'est un fait qui a été constaté déjà à plusieurs reprises.

D'après Faraday et aussi d'après la théorie de Jaumann, les conditions de la décharge dépendraient du produit $E\frac{dE}{dt}$ ou de l'énergie $Ei = CE\frac{dE}{dt}$, ce qui revient à peu près au même. Mais ces deux expressions sont insuffisantes pour représenter toutes les circonstances de la décharge. M. Johnson cherche à les compléter et compare dans ce but l'effet des oscillations électriques sur le diélectrique au choc des molécules gazeuses sur la paroi du vase qui renferme le gaz. Si V est la différence de potentiel entre les électrodes, i l'intensité du courant au même instant, la force vive de chacun des chocs sera $(Vi)_{max}$ et la *pression électrique* sera :

$$\frac{1}{T}(Vi)_{max},$$

en appelant T la période des oscillations. Si b est la *rigidité spécifique* du diélectrique, la rigidité totale de l'intervalle explosif sera $b\lambda$, λ étant la longueur de cet intervalle. L'étincelle se produit quand la pression électrique est supérieure ou au moins égale à la rigidité : c'est-à-dire quand

$$b\lambda = \frac{1}{T}(Vi)_{max}$$

Or

$$i = i_0 \sin\frac{2\pi t}{T}$$

$$V = E - E_0\cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi\right)$$

E étant une différence de potentiel fixe qui peut exister entre les électrodes.

Si E_0 est très petit vis-à-vis de E, le maximum de Vi se produit à peu près pour $t = \frac{T}{4}$ et

$$\lambda = \frac{ki_0}{T}(E - E_0\sin\varphi), \qquad (1)$$

Cette équation s'applique à la décharge dite statique, quand la longueur de l'étincelle n'est pas par trop petite et à la première étincelle seulement.

Si les électrodes sont très rapprochées, E_0 n'est plus assez petit vis-à-vis de E, pour que l'équation (1) soit valable : le maximum dépend du terme périodique qui figure dans l'expression de V et la condition qui correspond à la production de l'étincelle est plus compliquée que l'équation (1). Après la première étincelle, i_0 et E_0 augmentent tous les deux et par conséquent la différence de potentiel nécessaire à la décharge devient plus petite pour les étincelles suivantes.

L'équation (1) convient aussi aux décharges de la bobine d'induction : la fréquence est plus faible, mais l'amplitude est plus grande. Si un condensateur se trouve en dérivation sur le secondaire de la bobine, ce sont les oscillations qui ont leur siège dans le conducteur reliant le condensateur à l'exploseur qui ont le rôle principal. Si la différence de potentiel E qui existe entre les électrodes indépendamment des oscillations est grande vis-à-vis de l'amplitude des oscillations, à chaque décharge cette différence de potentiel subit une diminution considérable : la quantité d'électricité transportée d'une électrode à l'autre est grande et les oscillations provoquées par cette diminution de potentiel sont très intenses ; on a l'étincelle active de Hertz.

Lorsque la différence de potentiel fixe est nulle, l'énergie Vi prend sa valeur maxima à l'époque :

$$t = \frac{T}{8} + \frac{T\varphi}{4\pi}$$

et

$$\lambda = \frac{2k\pi i_0 E_0}{T}\,\frac{1+\sin\varphi}{2}.$$

L'angle φ dépend de l'amortissement et est en général assez petit. En négligeant $\sin\varphi$ vis-à-vis de 1, on trouve :

$$\lambda = \frac{2k\pi i_0}{T}\,\frac{E_0}{2}$$

ce qui revient à dire que la décharge dynamique exige, toutes choses égales d'ailleurs une différence de potentiel deux fois plus grande que la décharge statique.

D'après M. Johnson, il n'y a lieu de distinguer que deux espèces de décharges, la décharge par étincelle et la décharge silencieuse ; les autres formes peuvent être considérées comme des formes de passage qui dépendent d'autres circonstances.

Quand les pôles de l'étincelle se trouvent en dérivation sur le condensateur, la fréquence dépend de la capacité du condensateur, C, de celle des boules qui forment les pôles, γ, et de l'induction propre du circuit. Si chacune des boules est reliée à l'une des armatures du condensateur, la fréquence est la même dans les deux branches quand les boules ont le même diamètre. Si ce diamètre est petit, la capacité des boules est négligeable vis-à-vis de celle du condensateur. La fréquence a dans ce cas pour valeur

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{\frac{L\gamma}{1+\frac{\gamma}{C}}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\gamma}}.$$

Si la capacité γ devient plus grande, la fréquence diminue et une différence de potentiel plus grande est nécessaire pour produire l'étincelle : les oscillations sont plus intenses et on obtient l'étincelle active de Hértz. Si au contraire on diminue de plus en plus γ, la fréquence augmente de plus en plus, la différence de potentiel nécessaire à la décharge diminue et les étincelles éclatent d'une manière pour ainsi dire continue. A l'œil, la décharge paraît ininterrompue et on observe la décharge silencieuse.

M. L.

Sur les distances explosives entre deux plaques séparées par une faible distance, par **Robert E. Earhart.** *Philosophical Magazine*, [VI], t. I, p. 147-159, janvier 1901.

Il existe des mesures de la différence de potentiel nécessaire pour faire éclater une étincelle entre deux plaques (ou deux disques) séparées par une couche d'air, qui sont antérieures à 1860 (Volta, *Identita*, p. 53 ; Riess, *Pogg. Ann.*, t. XL, p. 333) ; seulement les premières mesures précises sur ce sujet ne datent que de 1860. Elles ont été effectuées sous la direction de sir W. Thomson (lord Kelvin) et sont exposées en détail dans son ouvrage « Electrostatics and Magnetism », p. 250. La distance des disques était mesurée au moyen d'une vis micrométrique et les potentiels nécessaires pour produire l'étincelle étaient indiqués par un électromètre absolu. Il résulte de ces mesures que *la différence de potentiel nécessaire pour faire éclater l'étincelle n'est pas directement proportionnelle à l'épaisseur du milieu qui sépare les deux disques-électrodes.* Ces résultats ont d'ailleurs été confirmés depuis par des mesures assez soignées.

On a imaginé différentes théories pour expliquer ce phénomène inattendu : entre autres, on admet qu'une certaine partie de l'énergie est employée à percer la couche d'air qui entoure les électrodes, cette couche gazeuse possédant une structure moléculaire différente de celle que possède l'air à l'état gazeux ordinaire ; et c'est cette structure moléculaire particulière qui modifie ses propriétés diélectriques.

Citons enfin, comme mesures plus complètes, celles de Liebig (*Phil. Mag.*, t. XXIV, p. 106. 1897). Dans cette dernière série de mesures, la distance explosive variait de 0,0066 cm à 1,144 cm.

Mais si la mesure de la différence de potentiel nécessaire pour faire éclater l'étincelle était précise, celle des distances qui séparaient les électrodes ne comportait aucune précision, par rapport à l'ordre de grandeur de l'épaisseur de la couche gazeuse qui adhère pour ainsi dire aux électrodes.

L'auteur de ce mémoire, M. Robert Earhart, s'est précisément proposé de mesurer cette distance avec une très grande précision : il a demandé aux méthodes interférentielles ce que la vis micrométrique ne peut donner. Il arrive ainsi facilement à apprécier 1/10 de frange, ce qui correspond pour la lumière jaune du sodium ($\lambda = 0{,}59\ \mu$ environ) à une longueur de 0,03 μ.

En ce qui concerne la forme des électrodes, comme on ne peut jamais obtenir deux surfaces optiquement planes, l'auteur a adopté une forme mixte : une des électrodes est constituée par un disque d'acier nickelé optiquement plan, de 2,52 cm de diamètre, et l'autre a la forme d'une

sphère de 1,26 cm de rayon, également en acier nickelé et très bien polie. La complication due à la sphéricité plus ou moins parfaite de cette dernière n'est pas aussi grande qu'on serait tenté de le supposer, car les distances qu'on a à mesurer sont de l'ordre de la longueur d'onde (de la lumière employée pour produire les franges d'interférence) et le rayon de courbure de la sphère en question étant de 1,26 cm, on voit que ce rayon est comparativement grand par rapport à λ.

L'électrode en forme de disque est fixée à l'aide d'un support très rigide à une des plaques qui constituent l'interferomètre. L'électrode sphérique peut être amenée en contact avec l'électrode plane et ce contact était accusé par un galvanomètre très sensible, avec une force électromotrice très faible dans le circuit; l'écartement des électrodes était ensuite mesuré en comptant le nombre de franges qui défilent dans la lunette de l'interféromètre.

Le dispositif expérimental est représenté par la figure 1. Le circuit 1 contient la force électromotrice qui variait de 2 à 5 000 volts; le circuit 2 contient le voltmètre (voltmètre Weston); le circuit 3 comprend un galvanomètre et une faible force électromotrice (environ 1/100 volt) qui servent à accuser le contact des électrodes.

L'auteur a, dans ces conditions, trouvé que la

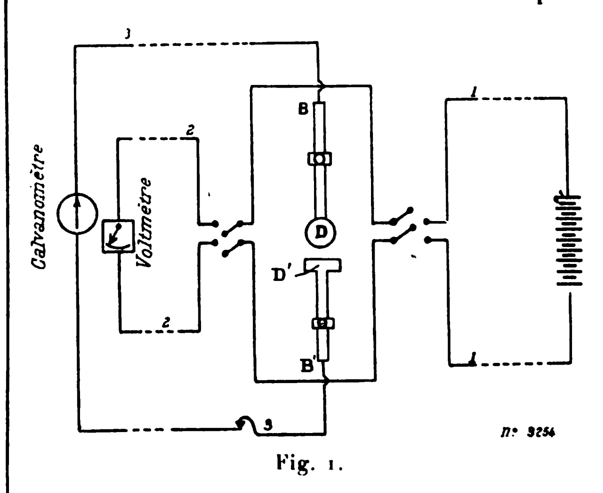


Fig. 1.

résistance apparente du diélectrique dépend, dans une certaine mesure, de la manière dont on établit la différence de potentiel. Une variation *brusque* du potentiel de 0 jusqu'à une cer-

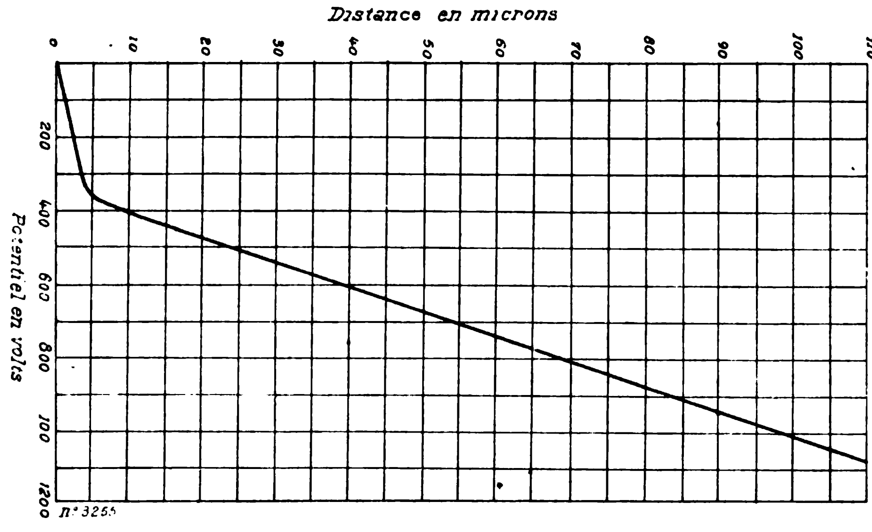


Fig. 2.

taine valeur définie, fait éclater l'étincelle à une distance beaucoup plus grande que si cette différence de potentiel était établie graduellement. C'est pour cette raison que dans les mesures qui suivent, l'auteur établit entre les électrodes une distance supérieure à celle nécessaire pour que l'étincelle puisse y éclater (pour une différence de potentiel donnée) et ramène ensuite les électrodes à une distance suffisante pour que l'étincelle puisse y éclater. Le résultat des mesures effectuées dans l'air à la pression atmosphérique est représenté par la courbe 2. On voit par cette

courbe que pour une distance variant de 0,5 λ à 3 λ, la différence de potentiel varie en raison directe de la distance entre les électrodes; entre 3 λ et 4 λ il y a brusquement une courbure très accentuée, et puis jusqu'à 110 λ encore une droite. Ceci montre, dans l'hypothèse d'une couche gazeuse adhérant à la surface des électrodes, que l'épaisseur de cette couche est de l'ordre de 1,5 λ_D; ce qui fait 0,9 μ (environ).

La pression a une influence très nette dans ces expériences : on constate en effet que la première portion de la courbe n'est presque pas changée, mais qu'à partir d'une certaine distance explosive, l'angle de la partie droite de la courbe avec l'axe des distances varie d'une manière continue avec la pression.

Voici les résultats obtenus par l'auteur :

Air, 40 cm de pression.

DISTANCES en λ.	POTENTIEL en volts.	DISTANCES en λ.	POTENTIEL en volts.
1,0	52	15,0	328
1,5	75	19,0	356
1,5	82	21,0	360
2,0	104	33,5	412
2,5	146	40,5	464
2,5	150	54,0	496
3,0	152	67,0	552
4,0	170	75,0	592
4,5	204	125,0	660
5,0	304	178,5	720
5,5	320		

Air, 3 atmosphères de pression.

DISTANCES en λ.	POTENTIEL en volts.	DISTANCES en λ.	POTENTIEL en volts.
1,0	107	15,0	512
2,0	199	17,0	512
2,5	240	19,0	568
2,5	260	24,5	660
3,0	304	31,5	768
8,0	368	38,0	886
11,5	500	42,0	1024
13,0	480		

Eugène NÉCULCÉA.

DIVERS

Mouvement d'une particule électrique dans un champ de force électrostatique et de force électromagnétique, par **E. Riecke**. *Dr. Ann.*, t. IV, p. 378-387, février 1901.

Soit μ la masse pondérable d'une particule électrique, ε sa charge électrique; x, y, z ses coordonnées rapportées à un système d'axes rectangulaires. Le potentiel électrique est $V = -Ax - By - Cz$; le potentiel électromagnétique : $P = -Lx - My - Nz$. Les équations différentielles du mouvement de la particule seront de la forme :

$$\left.\begin{aligned} \mu\frac{d^2x}{dt^2} &= -\varepsilon\frac{dV}{dx} + \frac{\varepsilon}{v}\left(\frac{dP}{dy}\frac{dz}{dt} - \frac{dP}{dz}\frac{dy}{dt}\right) \\ \mu\frac{d^2y}{dt^2} &= -\varepsilon\frac{dV}{dy} + \frac{\varepsilon}{v}\left(\frac{dP}{dz}\frac{dx}{dt} - \frac{dP}{dx}\frac{dz}{dt}\right) \\ \mu\frac{d^2z}{dt^2} &= -\varepsilon\frac{dV}{dz} + \frac{\varepsilon}{v}\left(\frac{dP}{dx}\frac{dy}{dt} - \frac{dP}{dy}\frac{dx}{dt}\right) \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

En introduisant les composantes A, B, C du champ électrostatique, L, M, N du champ magnétique, on déduit de ces équations :

$$\mu\frac{d^2}{dt^2}(L_x + M_y + N_z) = \varepsilon(AL + BM + CN). \quad (2)$$

Par l'origine O, on mène la direction du champ magnétique H et le rayon vecteur r joignant l'origine à la particule ε : par cette particule, on mène un plan normal à la direction H. Ce plan coupe la droite OH en un point h, situé à une distance h de l'origine :

$$h = r\left(\frac{L}{H}\frac{x}{r} + \frac{M}{H}\frac{y}{r} + \frac{N}{H}\frac{z}{r}\right).$$

Par suite :

$$\frac{d^2h}{dt^2} = \frac{\varepsilon}{\mu}\,F\cos(H.F). \quad (3)$$

Le point h se meut donc avec une vitesse uniforme parallèlement à la direction des lignes de force magnétique.

De même, on peut définir un point f par l'intersection de la droite Of menée par l'origine, parallèle au champ électrostatique F et du plan normal à cette droite mené par la particule ε. En désignant par f la distance Of de ce point à

l'origine :

$$\mu F \frac{d^2f}{dt^2} = \varepsilon F^2 + \frac{\varepsilon}{v}\frac{d}{dt}\begin{vmatrix} x & y & z \\ L & M & N \\ A & B & C \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Enfin, soit N la droite menée par l'origine normalement au plan (H, F), N, H, F formant un système superposable au système x, y, z; soit n la distance de l'origine au point d'intersection de cette droite avec le plan qui lui est mené normalement par la particule ε,

$$\mu \frac{d^2f}{dt^2} = \varepsilon F + \frac{\varepsilon}{v} H \sin(H,F)\frac{dn}{dt}. \quad (5)$$

La distance n est donnée par l'équation :

$$n = -\frac{F}{H}\sin(H,F)vt + a_1 \sin\frac{\varepsilon H}{v\mu}t + b_1 \cos\frac{\varepsilon H}{v\mu}t + \gamma_1 \quad (6)$$

où a_1, b_1 et γ_1 sont des constantes d'intégration. On a de même :

$$f = \frac{\varepsilon F\cos^2(H,F)}{2\mu}\left[t^2 - \frac{2v^2\mu^2}{\varepsilon^2 H^2}\right] + c^0{}_h \cos(H,F)t + a_2 \sin\frac{\varepsilon H}{v\mu}t + b_2\cos\frac{\varepsilon H}{v\mu}t + \gamma_2. \quad (7)$$

Pour que l'équation (5) soit vérifiée, il faut que :

$$a_2 = b_1 \sin(H,F) \quad b_2 = -a_1 \sin(H,F).$$

En posant

$$a_1 = d\sin\delta \quad b_1 = d\cos\delta$$

les équations (6) et (7) deviennent :

$$\left.\begin{aligned} n &= -\frac{F}{H}\sin(F,H)vt + d\cos\left(\frac{\varepsilon H}{v\mu}t - \delta\right) + \gamma_1 \\ f &= \frac{\varepsilon F\cos^2(H,F)}{2\mu}\left(t^2 - \frac{2v^2\mu^2}{\varepsilon^2H^2}\right) + c^0{}_h\cos(H,F)t + \\ &\quad d\sin(H,F)\sin\left(\frac{\varepsilon H}{v\mu}t - \delta\right). \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

Les directions F et N sont rectangulaires entre elles : n et f peuvent donc être considérées comme les coordonnées d'un point rapporté à des axes parallèles à ces directions. En prenant pour origine le point qui a pour coordonnées :

$$f_0 = d\sin(H,F)\sin\delta$$
$$n_0 = d\cos\delta,$$

les équations de la courbe décrite par le point (f, n) prendront la forme :

$$\left.\begin{aligned} f &= \frac{\varepsilon F\cos^2(H,F)}{2\mu}t^2 + c^0{}_h\cos(H,F)t \\ &\quad + d\sin(H,F)\sin\left(\frac{\varepsilon H}{v\mu}t - \delta\right) \\ n &= -\frac{F}{H}\sin(F,H)vt + d\cos\left(\frac{\varepsilon H}{v\mu}t - \delta\right). \end{aligned}\right\} \quad (8')$$

Le procédé le plus simple pour discuter la forme de cette courbe consiste à séparer chacune des coordonnées en deux parties

$$\left.\begin{aligned} f_1 &= \frac{\varepsilon F\cos^2(H,F)}{2\mu}t^2 + c^0{}_h\cos(H,F)t \\ n_1 &= -\frac{F}{H}\sin(F,H)vt \end{aligned}\right\} \quad (9)$$

$$\left.\begin{aligned} f_2 &= d\sin(H,F)\sin\left(\frac{\varepsilon H}{v\mu}t - \delta\right) \\ n_2 &= d\cos\left(\frac{\varepsilon H}{v\mu}t - \delta\right) \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

$$f = f_1 + f_2 \qquad n = n_1 + n_2.$$

On peut donc construire un point P de la courbe de la manière suivante : construire d'abord le point P_1, qui a pour coordonnées (f_1, n_1) : le point P s'obtiendra en menant les coordonnées (f_2, n_2) à partir de P_1 comme origine.

La courbe des points P_1 est une parabole dont l'axe est parallèle à l'axe des f : son sommet a pour coordonnées :

$$f_1^0 = -\frac{c^0{}_h{}^2}{2}\frac{\mu}{\varepsilon F} \qquad n^0{}_1 = \frac{c^0{}_h v\mu}{\varepsilon H}\operatorname{tg}(H,F)$$

et elle passe par l'origine.

Quand l'angle (H, F) est nul, c'est-à-dire quand le champ électrique et le champ magnétique ont même direction, cette parabole se réduit à l'axe des f : si les deux champs sont perpendiculaires, elle se réduit à l'axe des n.

D'autre part, on a :

$$\frac{f_2^2}{d^2\sin^2(H,F)} + \frac{n_2^2}{d^2} = 1$$

Le point P se trouve donc sur une ellipse ayant pour centre le point P_1 et dont les axes, parallèles aux axes des f et des n, ont respectivement pour longueur $2d$ et $2d\sin(H, F)$.

On obtient le mouvement sur cette ellipse du point P en faisant tourner le rayon vecteur de cette ellipse avec la vitesse angulaire $\frac{\varepsilon H}{v\mu}$. Mais

pour avoir le mouvement total du point P dans le plan (F, N), il faut en même temps faire se déplacer le centre P_1 de l'ellipse sur la parabole avec la vitesse :

$$-v\frac{F}{H}\sin(H,F).$$

La courbe obtenue présente une allure analogue à celle de la cycloïde (fig. 1).

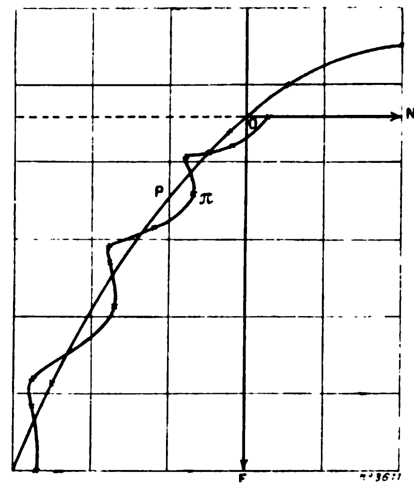


Fig. 1.

Enfin, pour avoir le mouvement réel de la particule électrique dans l'espace, il faut encore faire se mouvoir en même temps que le point P dans le plan (F, N) le point h sur l'axe H. La position de la particule à chaque instant est donnée par le point d'intersection de la normale au plan (F, N) menée par le point P et du plan mené par h perpendiculairement à l'axe H.

La courbe a l'allure d'une hélice.

Si l'angle (H, F) est droit, la parabole se confond avec l'axe des N, l'ellipse devient un cercle, le point P_1 décrit alors une cycloïde proprement dite ayant pour axe la portion négative de l'axe des N. L'accélération dans la direction H est nulle. Si donc la vitesse initiale v_h de la particule ε est nulle, la particule ne sort pas du plan (F, N). Dans ce cas particulier, où le champ électrique et le champ magnétique sont rectangulaires, la particule décrit une cycloïde dont l'axe est perpendiculaire aux lignes de force électrique et aux lignes de force magnétique.

Si les deux champs ont même direction, le mouvement de la particule se compose d'une translation uniformément accélérée dans cette direction et d'une rotation dans un plan perpendiculaire : la trajectoire est une hélice à pas croissant. M. L.

Stratifications dans un courant de particules électriques, par **Ed. Rieke.** *Dr. Ann.*, t. IV, p. 388-402, fév. 1901.

Des particules électrisées se meuvent dans un champ électrique uniforme d'intensité F, dans la direction de ce champ : la vitesse est la même à chaque instant pour toutes les particules situées dans un plan normal aux lignes de force. Les forces qui agissent sur ces particules sont le champ extérieur F et les actions électrodynamiques qu'elles exercent les unes sur les autres. De plus le champ est supposé rempli d'un milieu à l'état neutre, qui exerce sur les particules en mouvement un frottement proportionnel à leur vitesse.

Comme toutes les particules se meuvent dans des directions parallèles, il suffit d'en considérer une seule. L'axe des x sera la direction positive des lignes de force.

Supposons qu'en un certain point de l'axe des x la vitesse de cette particule soit nulle. Par suite de l'accélération provoquée par la force F, elle prendra dans la direction de l'axe des x un mouvement accéléré ; d'autre part, le frottement augmente avec la vitesse. Il est donc permis d'admettre qu'à partir d'un certain point dont l'abscisse est x_0, la vitesse n'éprouve plus de variation très grande. Les calculs suivants s'appliquent à cette région où la vitesse ne varie plus que lentement.

Les actions électrodynamiques, exprimées par la loi de Clausius, auront suivant l'axe des x une composante Ξ, telle que :

$$\frac{1}{\varepsilon\varepsilon_1}\Xi = -\frac{d\psi}{dx} + k\frac{d\psi}{dx}\left[uu_1 + vv_1 + ww_1\right] - k\frac{d}{dt}(\psi u_1).$$

Dans cette expression E et E_1 désignent les charges des deux particules qui agissent l'une sur l'autre x, y, z et x_1, y_1, z_1 sont les coordonnées de ces particules, u, v, w et u_1, v_1, w_1 les composantes de leur vitesse suivant les axes de coordonnées.

Clausius représente par ψ la fonction $\frac{1}{r}$:

Riecke suppose que ψ se confond avec $\frac{1}{r}$ seu-

lement quand r devient très grand ; mais pour les petites valeurs de r, ψ et ses dérivées sont beaucoup plus grands que $\frac{1}{r}$ et ses dérivées.

D'après l'hypothèse faite ci-dessus, les composantes v, w et v_1, w_1 sont nulles et l'équation se réduit à :

$$\frac{1}{\varepsilon\varepsilon_1} \Xi = -\frac{d\psi}{dx} + k\frac{d\psi}{dx}u_1{}^2 - k\psi\frac{du_1}{dt}.$$

Pour calculer l'action sur la particule ε de toutes les autres qui l'entourent, on considèrera une sphère ayant pour centre ε et un rayon tel qu'on puisse négliger l'action de toutes les particules qui se trouveront en dehors. On supposera que la charge de toutes les particules contenues à l'intérieur de la sphère est répartie uniformément dans tout le volume de cette sphère : soit η_1 la densité de charge correspondante.

En admettant d'abord que u_1 est constant et égal à u, on trouve pour l'action totale de la sphère sur ε :

$$\sum\frac{\Xi'}{\varepsilon} = -(1-ku^2)\frac{d\eta_1}{dx}\sum\frac{1}{r}\frac{d\psi}{dr}(x-x_1)^2dw_1$$
$$= -(1-ku^2)\frac{d\eta_1}{dx}\sum\chi(x-x_1)^2dw_1.$$

En admettant ensuite que η_1 est constant et égal à η, tandis que u_1 est variable, on trouve :

$$\sum\frac{\Xi''}{\varepsilon} = k\eta_1\frac{du^2}{dx}\sum\chi(x-x_1)^2dw_1 - k\eta_1\frac{du}{dt}\Sigma\psi dw_1$$
$$-k\eta_1\frac{d^2}{dx^2}\left(\frac{du}{dt}\right)\frac{1}{2}\Sigma\psi(x-x_1)^2dw_1.$$

Comme $udt = dx$, cette équation peut s'écrire :

$$\sum\frac{\Xi''}{\varepsilon} = k\eta_1\frac{du^2}{dx}\sum\left[\chi(x-x_1)^2 - \frac{1}{2}\psi\right]dw_1$$
$$-k\eta_1\frac{d^3u^2}{dx^3}\frac{1}{4}\Sigma\psi(x-x_1)^2dw_1$$

Posons :

$$P = \Sigma\chi(x-x_1)^2dw_1$$
$$Q = \Sigma\left[\chi(x-x_1)^2 - \frac{\psi}{2}\right]dw_1$$
$$R = \frac{1}{4}\Sigma\psi(x-x_1)^2dw_1.$$

La force électrique totale à laquelle est soumise la particule ε de la part des particules qui l'entourent aura pour expression :

$$X = -P\varepsilon(1-ku^2)\frac{d\eta_1}{dx} + Qk\varepsilon\eta_1\frac{du^2}{dx} - Rk\varepsilon\eta_1\frac{d^3u^2}{dx^3}.$$

Dans le régime stationnaire, le nombre des particules et par conséquent la quantité d'électricité qui traverse une aire d'un cm² normale à la direction des lignes de courant est partout le même. Si i est l'intensité constante du courant, on aura :

$$\eta_1 u = i.$$

L'équation différentielle qui représente le mouvement de la particule sera de la forme .

$$\mu\frac{du}{dt} = \varepsilon F - P\varepsilon(1-ku^2)\frac{d\eta_1}{dx} + Qk\varepsilon\eta_1\frac{du^2}{dx}$$
$$-Rk\varepsilon\eta_1\frac{d^3u^2}{dx^3} - \rho u.$$

le dernier terme représente le frottement de la particule sur les particules à l'état neutre.

En posant :

$$u = u_0 + \varphi$$

et négligeant $\frac{\varphi}{u}$ vis-à-vis de 1, il vient :

$$\frac{d^3\varphi}{dx^3} + p\frac{d\varphi}{dx} + q\left(\varphi + u_0 - \frac{\varepsilon F}{\rho}\right) = 0$$

où

$$p = \frac{\mu u_0}{2Rk\varepsilon i} - \frac{2Q-P}{2R} - \frac{P}{2Rku_0{}^2}$$
$$q = \frac{\rho}{2Rk\varepsilon i}.$$

Cette équation différentielle admet comme intégrale générale :

$$u_0 + \varphi = \frac{\varepsilon F}{\rho} + c_1 e^{-\alpha x}\left(c_2 e^{\sqrt{-1}\,\pi\beta x} + c_3 e^{-\sqrt{-1}\,\pi\beta x}\right)e^{\frac{\alpha}{2}x}.$$

expression dans laquelle :

$$-\alpha,\quad \frac{\alpha}{2} + \sqrt{-1}\,\beta\pi,\quad \frac{\alpha}{2} - \sqrt{-1}\,\beta\pi$$

sont les racines de l'équation caractéristique :

$$\gamma^3 + p\gamma + q = 0.$$

La vitesse u de la particule au point d'abscisse x peut donc s'écrire :

$$u = \frac{\varepsilon F}{\rho}\left[1 - e^{-\alpha(x-x_0)}\right] + u_0 e^{-\alpha(x-x_0)}$$
$$+ \alpha e^{\frac{\alpha}{2}(x-x_0)}\sin\pi\beta(x-x_0).$$

x_0 étant l'abscisse du point où u a la valeur u_0. Le terme périodique qui entre dans l'expression de u s'annule pour :

$$x = x_0 \quad x = x_0 + \frac{1}{\beta}, \ldots \ldots x = x_0 + \frac{2}{\beta}.$$

$\frac{1}{\beta}$ est donc la demi-longueur d'onde de ce terme périodique.

Quand $x - x_0$ est grand, la vitesse u a pour valeur $\frac{\varepsilon F}{\rho}$ aux points où le terme périodique s'annule et d'après l'hypothèse faite au début u_0 ne doit pas différer beaucoup de $\frac{\varepsilon F}{\rho}$. En posant :

$$\xi = \beta(x - x_0)$$

on trouve :

$$\frac{u}{u_0} = \frac{\varepsilon F}{\rho u_0}\left(1 - e^{-\frac{\alpha}{\beta}\xi}\right) + e^{-\frac{\alpha}{\beta}} + \frac{u}{u_0}\, e^{\frac{\alpha}{2\beta}\xi} \sin \pi\xi.$$

En prenant les valeurs de ξ comme abscisses et celles de $\frac{u}{u_0}$ comme ordonnées, on obtient une courbe qui peut être considérée comme la résultante de deux autres ; une courbe exponentielle dont l'ordonnée initiale est 1 et l'ordonnée finale $\frac{\varepsilon F}{\rho u_0}$, peu différente de 1 ; et une sinusoïde dont la demi-longueur d'onde est $\frac{1}{\beta}$ et dont l'amplitude va constamment en croissant.

La densité électrique η est égale à

$$\eta = \eta_0 \frac{u_0}{u}$$

si on appelle η_0 la densité initiale. La courbe réciproque de la précédente représentera donc $\frac{\eta_0}{\eta}$ et donnera par conséquent une image de la répartition de la densité électrique dans le champ.

La longueur d'onde du terme périodique décroît quand μ et ρ augmentent ; elle croît quand la densité initiale croît.

Si le frottement est nul, on trouve, en supposant encore que u diffère peu de u_0,

$$\frac{d^3\varphi}{dx^3} + \left(\frac{\mu u_0}{2Rk\varepsilon i} - \frac{2Q - P}{2R} - \frac{P}{2Rku_0^2}\right)\frac{du}{dx} = \frac{\varepsilon F}{2Rk\varepsilon i}.$$

En donnant à p la même signification que ci-dessus et en posant :

$$r = \frac{\varepsilon F}{2Rk\varepsilon i}$$

il vient :

$$u = u_0 + \frac{r\pi}{\rho\sqrt{p}}\,.\,\xi + a \sin \pi\xi.$$

Dans ce cas, la longueur d'onde du terme périodique augmente quand la masse μ augmente.

Quand la vitesse initiale u_0 est petite, la vitesse u devient périodique.

Dans un tube de Geissler, entre l'anode et la région cathodique obscure, le champ est à peu près constant. Dans ce champ se produit un double courant : les particules négatives se déplacent de la cathode vers l'anode, les particules positives, de l'anode vers la cathode. D'après Riecke, il faut identifier les particules positives avec les ions ordinaires, en raison des expériences faites sur les rayons-canal : les particules négatives seraient les électrons. Par suite, la masse μ des particules positives serait beaucoup plus grande que celle des particules négatives.

Si on admet d'abord que les mouvements des deux espèces de particules sont indépendants l'un de l'autre, la courbe des vitesses sera pour les particules négatives une sinusoïde dont l'axe des O est parallèle à l'axe des x ; pour les particules positives, ce sera une droite parallèle à cet axe. Les courbes représentant les densités η_n et η_p ont des formes analogues.

Mais, en toute rigueur, les mouvements des deux espèces de particules ne sont pas indépendants. Si la vitesse des particules positives est constante, leur action électrodynamique sur les particules négatives est nulle. Par contre, l'action électrodynamique des négatives sur les positives ne saurait être négligée. On peut considérer cette action comme une force extérieure à laquelle sont soumises les particules positives. Cette force comprend un terme périodique dont la longueur d'onde est $\frac{2}{\beta}$. L'influence de ce terme doit se faire sentir dans le mouvement forcé des particules positives par un terme de même période. L'amplitude de ce terme diminuera avec la masse des particules et avec leur coefficient de frottement ρ. L'amplitude des oscillations sera faible relativement à celle des

oscillations dans la vitesse des particules négatives. Au lieu de la droite τ_{1p}, on aura une courbe faiblement ondulée.

On a supposé au début que le champ était homogène. Cette condition n'est pas remplie puisqu'il y a dans le tube des charges alternativement positives et négatives : mais la modification qui en résulte n'a rien d'essentiel.

La théorie du double courant dans le tube de Geissler, telle qu'on l'a appliquée ici, laisse de côté un fait important. Si des particules positives et négatives se déplacent en sens inverse dans le tube, il doit se produire une recomposition partielle de molécules neutres. Les stratifications brillantes correspondent peut-être aux régions où se produit cette recombinaison. Inversement, les molécules neutres peuvent être disloquées par le choc des particules en mouvement. Ce phénomène, qui est fondamental dans la théorie de J.-J. Thomson, est négligé complètement ici. Aussi a-t-on trouvé que l'amplitude des oscillations de vitesse (ou de charge croissait indéfiniment. Ceci est impossible : il doit exister un phénomène qui s'oppose à cet accroissement indéfini et ce phénomène est sans doute cette dislocation des molécules neutres.

Il est à remarquer encore que dans la théorie de Thomson, les vitesses des particules positives et négatives sont égales : dans la théorie de Riecke, elles sont forcément différentes.

M. L.

Notes sur l'application pratique de la théorie de la perturbation magnétique aux courants dans la terre, par **R. T. Glazebrook**. *Philosophical Magazine* [VI], t. I, p. 432, avril 1901.

Ces notes contiennent des applications fort intéressantes de la théorie de la perturbation magnétique produite par les tramways électriques, théorie, due à M. Rücker, que nous avons analysée dans le n° 24 de *L'Éclairage Électrique*, (t. XXVII, p. 416, 15 juin 1901).

Soit (fig. 1) MBA la ligne, O le point d'observation, B la station génératrice (source), P la voiture et OM la perpendiculaire de O à la ligne; posons en outre :

$$OM = y, \quad MB = b, \quad BP = x$$
$$BA = a, \quad OB = r_1, \quad OA = r_2.$$

L'expression de la force verticale en O, due à l'élément dx, s'écrit alors d'après M. Rücker

$$F_v = Iy\int_0^a \left[1 - \frac{e^{\mu x} + e^{\mu(a-x)}}{1 + e^{\mu a}}\right] \frac{dx}{\left[(b+x)^2 + y^2\right]^{\frac{3}{2}}}.$$

où

$\mu^2 = \frac{h}{k}$ (h = conduct. ext. et k = conduct. int.)

M. Glazebrook montre que dans beaucoup de

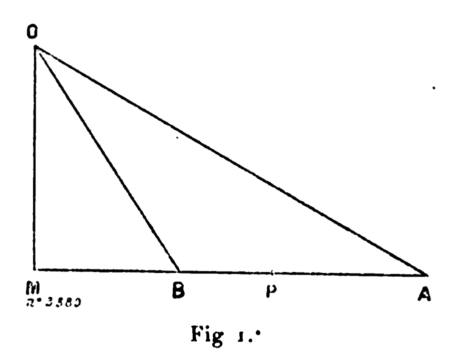


Fig 1.

cas on peut négliger, en première approximation, $\frac{\mu^2 a^2}{4}$ par rapport à l'unité. Il arrive ainsi [1] en tenant compte de la disposition expérimentale utilisée à Stockton [2] (fig. 2) (où $b = -\frac{a}{2}$, $r_1 = r_2 = r$, a l'expression suivante de la force verticale,

$$F_v = \frac{\mu^2}{2} I \left[\frac{ar}{y} - y \log\left(\frac{r + \frac{a}{2}}{r - \frac{a}{2}}\right)\right] \qquad (1)$$

[1] En développant, en effet, suivant les puissances de μ et en négligeant $\frac{\mu^2 a^2}{4}$ dans les termes déjà petits, on obtient :

$$\frac{F_v}{Iy} = \frac{\mu^2}{2}\int_0^a \frac{x(a-x)}{\left[(b+x)^2+y^2\right]^{\frac{3}{2}}} dx$$

$$= \frac{\mu^2}{2}\left\{\frac{1}{y^2}\left[\left(a+b\right)\left(b^2+y^2\right)^{\frac{1}{2}} - b\left(a+b^2+y^2\right)^{\frac{1}{2}}\right]\right.$$

$$\left. - \log\frac{a+b+\sqrt{a+b^2+y^2}}{b+\sqrt{b^2+y^2}}\right\}$$

$$= \frac{\mu^2}{2}\left[\frac{(a+b)r_1 - br_2}{y^2} - \log\frac{a+b+r_2}{b+r_1}\right]$$

en y faisant enfin $b = -\frac{a}{2}$, $r_1 = r_2 = r$, on trouve la formule (1). C. Q. F. D.

[2] Voir *Éclairage Électrique*, t. XXVII, p. 416, juin 1901.

Cependant cette expression paraît encore trop compliquée pour l'usage courant. M. Glazebrook arrive alors à une autre expression de F_v en introduisant l'hypothèse suivante : la différence entre les courants d'aller et retour est

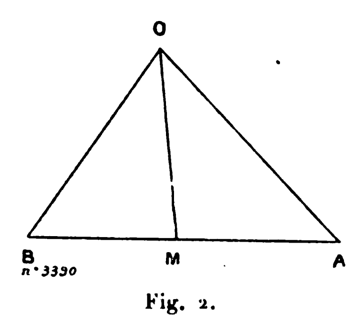


Fig. 2.

constante le long de la ligne, la déperdition totale ayant lieu seulement au point de fuite (contact du fil trôlet avec l'archet de la voiture) ; ceci revient, en employant le langage de M. Rücker [1], à employer le *courant uniforme équivalent*,

En appelant alors x le coefficient de déperdition qui, dans la théorie de M. Rücker est $1 - L$, on obtient,

$$F_v = \frac{I x}{y}\left[\frac{a+b}{r_2} - \frac{b}{r_1}\right]$$

où

$$F_v = \frac{I x}{y}\frac{a}{r},$$

en y faisant $b = -\frac{a}{2}$ ou et $r_1 = r_2 = r$. —

On a en même temps pour la composante horizontale,

$$F_h = \frac{I x a}{r^2}.$$

Reste donc à calculer x. Or, d'après la théorie de M. Rücker

$$x = \frac{\left[1 - e^{-\mu\frac{a}{2}}\right]^2}{1 + e^{-\mu a}}$$

et d'après les expériences effectuées à Stockton, $a = 2$ milles angl. $= 3{,}2 \times 10^5$ *c. m.* et $\frac{\mu a}{2} =$ 0,64 environ.

En développant l'expression de x on obtient ainsi,

$$x = \frac{\mu^2 a^2}{8}\left(1 - \frac{5}{12}\frac{\mu^2 a^2}{4} + \dots\right)$$

et en négligeant $\frac{5}{48}\mu^2 a^2$ devant l'unité, il vient finalement,

$$x = \frac{\mu^2 a^2}{8}$$

et par suite,

$$F_v = \frac{I a}{y r}\frac{\mu^2 a^2}{8} = \frac{1}{4}\mu^2 I \frac{a^2}{y}\frac{a}{\sqrt{a^2 + 4y^2}} \qquad (2)$$

or $a = 2$ milles ; la valeur de x est donc environ 20 p. 100 trop forte.

En comparant les deux formules (1) et (2) et en remarquant que $\frac{a}{2r} < 1$ on obtient finalement en développant le logarithme en I,

$$F_v = \frac{\mu^2 I}{8}\frac{a^4}{r y}\left[1 - \frac{1}{3}\frac{y^2}{r^2}\dots\right].$$

Dans les expériences de Stockton, $a = 2$, $y = 0{,}4$, $r = 2{,}04$; et le terme négligé est environ 0,02.

Les formules ci-dessus nous conduisent à un résultat remarquable.

Il est d'abord clair que pour des circuits semblables et semblablement placés, la force verticale doit varier comme les dimensions linéaires du circuit multipliées par le courant. Maintenant, si le nombre des voitures par unité de longueur de voie reste constant, le courant doit varier comme la longueur de la voie ; d'où il

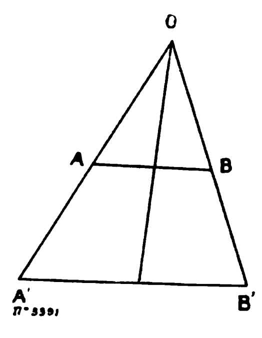


Fig. 3.

résulte que la force est proportionnelle au carré des dimensions linéaires.

Si nous avons alors deux lignes parallèles AB, A′B′ (fig. 3) où A′B′ a pour valeur $\overline{A'B'} = \overline{2\,AB}$ et est à une distance double de la source, l'in-

[1] *Éclairage Électrique*, loc. cit.

fluence causée par cette ligne A'B' est 4 fois plus faible que celle causé par AB [1].

La formule (2) nous donne d'autre part des résultats variés intéressants; écrivons-la de nouveau en effet,

$$F_v = \frac{1}{4}\mu^2 a^2 I \frac{1}{y}\frac{a}{\sqrt{(a^2+4y^2)}};$$

si le nombre des voitures par unité de longueur de la ligne est constant, le courant variera comme la longueur de la ligne; il résulte donc de là que

$$I = \lambda a;$$

et

$$F_v = \frac{1}{4}\lambda\mu^2 a^3 \frac{1}{y}\frac{a}{\sqrt{a^2+4y^2}}$$

où y doit être mesuré en cm, pour avoir F_v en unités absolues; il faut donc pour cela introduire au numérateur le facteur $0{,}62 \times 10^{-5}$, ou, ce qui revient au même, $1{,}6 \times 10^5$ au dénominateur, et il vient ainsi

$$F_v = \frac{0{,}62}{4} \times 10^{-5} \times \lambda\frac{\mu^2 a^3}{y}\frac{a}{\sqrt{a^2+4y^2}}$$

où les longueurs sont maintenant exprimées en milles anglais et 10^{-5} est l'unité ordinaire de force magnétique terrestre.

En considérant les *dimensions* de cette formule, on s'aperçoit immédiatement que $\mu^2 a^2$ est un nombre et que λa est un courant électrique. μ^2 et λ ont donc tous les deux des dimensions dans l'espace et il est supposé, dans les valeurs données de ces deux quantités, que chacune se réfère à une longueur de la ligne égale à 1 mille anglais.

Maintenant, d'après les expériences de Stockton, la valeur approchée de $\frac{\mu a}{2}$ est 0,64, où $a = 2$ milles anglais. Ceci nous conduit donc à

$$\mu = 0{,}64 \quad \text{et} \quad \mu^2 = 0{,}41.$$

Les expériences effectuées par M. Parry et publiées dans l'*Electrician* du 10 août 1900 assignent à ce coefficient μ une valeur différente de celle trouvée par l'auteur. Il trouve, en effet,

$$\mu = 0{,}35$$

dans une ligne où le coefficient de déperdition était 0,015. Dans d'autres expériences, M. Parry a trouvé $\mu = 0{,}425$ et $\mu^2 = 0{,}18$.

Le coefficient de déperdition dans les expériences de Stockton était de 5 p. 100 et par mille de longueur. De sorte que le rapport de la déperdition au courant qui y arrive, pour une longueur de 1 mille, est

$$\frac{\mu^2}{8} = 0{,}05 \quad \text{et} \quad \mu^2 = 0{,}4.$$

Dans ce cas, le terme négligé dans le développement original est $\frac{1}{24}a^2$.

Supposons maintenant qu'il y ait 8 voitures par mille de longueur, chaque voiture utilisant un peu moins de 20 ampères, de sorte que

$$\lambda = 150 \text{ ampères} = 15 \text{ unités C. G. S.}$$

Il vient donc

$$\lambda\mu^2 = 6.$$

En substituant cette valeur dans la formule précédente qui nous donnait F_v, il vient, en y faisant de plus $a = 1$, $y = 1$.

$$F_v = 0{,}42 \times 10^{-5}.$$

Avec les données de Stockton F_v est égal à $6{,}2 \times 10^{-5}$ qui est un peu plus petit que 7×10^{-5} valeur actuellement trouvée.

Au lieu de nous servir du courant, nous pourrons employer la différence de potentiel qui existe entre les deux bouts de la ligne pour évaluer cette forme verticale. Désignons par V cette

---

[1] Nous avons en effet,

$$\frac{F_v}{F'_v} = \frac{\varkappa I}{y}\frac{y}{\varkappa' I'};$$

or, si le nombre de voitures est constant par unité de longueur de la voie, nous avons

$$\frac{I}{y} = \frac{I'}{y'}.$$

En outre,

$$\frac{\varkappa}{\varkappa'} = \frac{y^2}{y'^2};$$

donc

$$\frac{F}{F'} = \frac{\varkappa}{\varkappa'} = \frac{y^2}{y'^2} = \frac{1}{4}.$$

différence de potentiel. On a alors

$$\text{Courant de déperdition} = \mu k \frac{V}{2} \frac{1 - e^{-\mu \frac{a}{2}}}{1 + e^{\mu \frac{a}{2}}} = \frac{haV}{8}$$

au même degré d'approximation.

Donc

$$F_r = \frac{1}{4} \frac{hV}{y} \frac{a^2}{\sqrt{a^2 + 4y^2}}.$$

Si le nombre de voitures par unité de longueur de voie (¹) est donné, V varie alors comme a^2; en posant $V = \nu a^2$, où ν est la différence de potentiel entre deux points séparés par l'unité de longueur, on a

$$\text{la déperdition totale pour une longueur } a = \frac{h\nu a^3}{8} = \frac{\lambda \mu^2 a^3}{8}$$

Par conséquent $h\nu = \lambda\mu^2$, ce qui conduit à :

$$F_c = \frac{h\nu a^4}{4y\sqrt{4y^2 + a^2}} \times 0{,}62 \times 10^{-5};$$

toutes les quantités se rapportant au mille anglais comme unité de longueur. On peut encore modifier ces équations en éliminant a; on y arrive facilement en se servant soit de l'équation $I = \lambda a$ soit de l'équation $V = \nu a^2$. On obtient ainsi les quatre équations suivantes :

$$F_c = \frac{0{,}62}{4} \lambda\mu^2 \frac{a^4}{y} \frac{1}{\sqrt{4y^2 + a^2}} \times 10^{-5}$$
$$= \frac{0{,}62}{4} \frac{\lambda\mu^2}{y} \left(\frac{I}{\lambda}\right)^4 \frac{1}{\sqrt{\left[4y^2 + \left(\frac{I}{\lambda}\right)^2\right]}} \times 10^{-5}$$
$$= \frac{0{,}62}{4} h\nu \frac{a^4}{y} \frac{1}{\sqrt{4y^2 + a^2}} \times 10^{-5}$$
$$= \frac{0{,}62}{4} \frac{h\nu}{y} \left(\frac{V}{\nu}\right)^2 \frac{1}{\sqrt{\left[4y^2 + \frac{V}{\nu}\right]}} \times 10^{-5}.$$

Si maintenant nous voulons trouver la relation qui existe entre la longueur de la ligne et sa distance au point d'observation de manière que, quand même l'effet de la ligne serait maximum il soit inférieur à une quantité δ donnée, il faut alors que les seconds membres des relations précédentes soient inférieurs à cette quantité δ.

Or nous avons vu que $\frac{\lambda\mu^2}{8}$ est la déperdition maximum pour une ligne de un mille anglais de longueur. Appelons L cette quantité. Il vient alors

$$\lambda\mu^2 = 8L$$

et notre équation de condition devient

$$1{,}24 \times L \times \frac{a^4}{y} \frac{1}{\sqrt{a^2 + 4y^2}} 10^{-5} < \delta$$

a ne doit donc pas excéder la valeur donnée par l'équation

$$1{,}24 \times L \times \frac{a^4}{y} \frac{1}{\sqrt{a^2 + 4y^2}} 10^{-5} = \delta$$

et en désignant par $\overline{L}$ le coefficient de perte en ampères (¹) il vient,

$$\overline{L} = 10\,L$$

ce qui nous donne

$$0{,}124\,\overline{L} \times \frac{a^4}{y} \frac{1}{\sqrt{a^2 + 4y^2}} 10^{-5} = \delta$$

et en posant

$$\delta = \frac{1}{2} \times 10^{-5}$$

(d'accord avec la pratique) il vient

$$0{,}25 \times \overline{L} \times \frac{a^4}{y} \frac{1}{\sqrt{a^2 + 4y^2}} = 1.$$

Et, finalement, avec les données numériques précédentes :

$$\lambda\mu^2 = 60 \text{ ampères}$$

et

$$L = 7{,}5 \text{ ampères} = 5 \text{ p. } 100 \text{ du courant.}$$

Si on connaît la résistance de un mile anglais de voie, nous pouvons calculer la différence de potentiel nécessaire pour envoyer le courant dans cette voie, car il est clair, d'après les

(¹) Mille anglais dans le cas de ces expériences.

(¹) Pour un rail de 1 mille anglais de longueur et dans lequel passe le courant maximum nécessaire pour actionner le nombre maximum de voitures par mille.

courbes de M. Parry et d'après la théorie, que pour une voie de un mile de longueur, la déviation nécessaire est donnée jusqu'à un degré suffisant d'approximation, par le produit du courant par la résistance.

Maintenant, pour un rail pesant 92 livres anglaises (34,338 kgr) par mètre de longueur, on a comme résistance (par mille de long) 0,053 ohm et comme résistance de la voie double 0,0135 ohm, ce qui donne $v = 2$ volts pour la différence de potentiel nécessaire pour produire un courant de 150 ampères. Nous obtenons ainsi le tableau suivant des valeurs de a et V.

y	a	V
1	1,05	2,25
2	1,45	4,25
3	1,78	6,25
4	2,05	8,5
5	2,30	10,5

Et si nous posons $\frac{\mu^2}{8} = 0{,}0225$, de manière que le coefficient de perte soit $2\frac{1}{4}$ p. 100, nous obtenons alors le tableau suivant :

y	a	V
1	1,15	2,6
2	1,75	6,25
3	2,14	9,25
4	2,5	12,5

Nous pouvons maintenant utiliser les équations précédentes pour voir pour quelle distance la différence de potentiel employée par les maisons de commerce devient inoffensive, et quelle est la longueur correspondante de la ligne. Faisons à cet effet $V = 7$, $v = 2$ et $hv = 6$ dans la quatrième des équations précédentes; nous trouvons

$$y = 3{,}28 \text{ milles}$$

et en tenant compte de $V = va^2$, nous trouvons pour longueur de la ligne $a = \sqrt{3{,}5} = 1{,}87$ milles. Cela veut dire, en chiffres ronds, qu'une voie de deux milles anglais de longueur, traversée par un courant de 300 ampères sous une différence de potentiel de 7 volts entre ses extrémités, peut produire, en un point d'observation situé à une distance de 3 milles, une force magnétique verticale égale à $0{,}5 \times 10^5$ unités.

Si maintenant nous nous rappelons que λ est le courant nécessaire pour assurer le mouvement des voitures sur un parcours de un mille de longueur de la ligne, nous pouvons alors employer la méthode suivante :

Multiplions le courant, en ampères, nécessaire pour remorquer les voitures sur un parcours de un mille par le nombre $\frac{1}{10}\frac{\mu^2}{8}$. Appelons J le résultat du calcul (en ampères). La valeur maxima de a est alors donnée par

$$2{,}5\,J\,\frac{a^4}{y}\,\frac{1}{\sqrt{(a^2+4y^2)}} = 1.$$

Pour les dispositions expérimentales indiquées par les figures considérées ci-dessus la valeur de $\frac{\mu^2}{8}$ est 0,05.

D'autre part, nous avons

$$hv = \lambda\mu^2 = \frac{\lambda h}{k}$$

d'où $\lambda = kv$
comme il est d'ailleurs évident d'après les définitions précédentes.

La valeur de $\frac{1}{k}$ est, comme nous l'avons déjà vu, 0,0135 ohm; et, puisque $\mu^2 = \frac{h}{k}$,

$$\frac{1}{h} = \frac{1}{\mu^2 k} = 0{,}34 \text{ approx.}$$

D'autre part, pour des rails de sections droites semblables, h varie comme les dimensions linéaires de la section droite et k varie comme le carré des mêmes dimensions. Il résulte de là que μ^2 varie en raison inverse des dimensions linéaires et le coefficient de perte croît, pour un courant donné, avec l'aire de la section des rails.

Expériences de M. J. Edler (*Verhandl des Deutschen physikal. Gesellsch. i. Jahrg n° 10.* — Ces expériences ont été effectuées à Spandau. La ligne du tramway avait environ 5 km de longueur et était approximativement droite; les perturbations magnétiques furent mesurées en un certain nombre de stations situées à des distances différentes de la ligne. Le courant a varié entre 35 et 150 ampères. Pour appliquer à ces résultats expérimentaux le calcul qui précède, M. Glazebrook considère comme intensité moyenne du courant 100 ampères sous 500 volts de différence de potentiel. Le coefficient de perte

odopté par M. Glazebrook, correspondant à la plus petite des deux valeurs pour lesquelles ont été calculées les tables qui figurent dans ce mémoire, est 0,025. La valeur de μ^2 qui correspond à ce coefficient de perte est 0,08 approximativement [1], et la perte pour a km est $0{,}01a^2$.

Dans le tableau suivant, y désigne la distance (en km) du point d'observation à la ligne, et dans les deux autres colonnes figurent les valeurs correspondantes de F (calculées et observées) en 10^5 gauss.

y	F calculé	F observé
0,38	12,8	23,17
0,64	7,3	10,6
0,79	5,8	5,6
0,92	4,9	4,3
3,01	0,99	0,95
7,48	0,21	0,24
1,54	1,5	1,04

Pour les deux premières stations (où la distance est la plus courte), le calcul et l'expérience ne concordent pas ; quant aux dernières (où la distance variait de 0,79 à 7,48 km, c'est-à-dire de 0,5 à 5 milles anglais) l'accord est suffisant, pratiquement. Les résultats de la dernière colonne horizontale correspond à une station séparée de la ligne par un cours d'eau (Havel) (ayant une largeur d'environ 0,5 km). Et on voit donc que la présence d'une rivière ou un cours d'eau quelconque entre la ligne et la station d'observation n'a presque pas d'influence sur les perturbations magnétiques produites par la ligne de tramways électrique.

Calculons maintenant, d'après la théorie de M. Rücker, la perturbation résultante horizontale. Considérons encore la figure 1. Soit A, ce que M. Rückert appelle la *source* (station génératrice), B *le point de fuite* (point par où le courant s'écoule de la ligne dans le moteur de la voiture), O la station d'observation. Nous avons à trouver la résultante de deux forces : $\frac{I\varkappa}{OB}$ et $\frac{I\varkappa}{OA}$ qui agissent respectivement en angle droit sur OB et OA, de telle manière que si l'un tend à accroître l'angle MBO, l'autre tend à diminuer l'angle MAO.

Il est facile de voir que cette résultante est donnée par

$$\frac{Ixa}{r_1 r_2}$$

et on obtient alors le tableau comparatif suivant, pour les mêmes stations que précédemment :

y	H calculé	H observé
0,38	2,25	9,5
0,64	2,15	6,09
0,79	2,08	4,67
0,92	1,92	4,31
3,01	0,83	1,33
7,48	0,21	0,44
1,54	1,56	1,44

On voit donc qu'ici le désaccord est très marqué. Tout ce qu'on peut dire, c'est que les forces observées et calculées sont du même ordre de grandeur, mais c'est là tout ce qu'on puisse affirmer. Ce désaccord provient peut-être de ce que la rivière qui coulait parallèlement à la ligne était trop près de cette dernière.

En ce qui concerne la perturbation horizontale, elle est due à la composante verticale du courant de déperdition (*leakage-current*). Il est d'autre part acceptable qu'on regarde la rivière comme un point de fuite d'une grande étendue. Les courants qui cheminent dans une direction horizontale du côté du rail opposé à la rivière peuvent être détournés par celle-là, devenir graduellement verticaux et finalement, après avoir tourné de 180°, passer horizontalement ou approximativement horizontalement, retourner dans les rails et dans la rivière ; ou, il se pourrait encore que la distance (suivant la verticale) de la surface de l'eau aux rails ne fut pas suffisante, — les stations d'observation ne furent, en effet, qu'à 3,5 m au-dessus du niveau de la rivière — de sorte que les lignes de force ne font qu'un très petit angle auec la verticale.

En tout cas, la présence de la rivière, doit avoir plus d'influence sur la perturbation horizontale que sur la perturbation verticale.

Eugène Néculcéa.

[1] Les longueurs étant mesurées en km.

Le Gérant : C. NAUD.



Tome XXVIII. Samedi 31 Août 1901. 8e Année. — N° 35

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

GROUPE ÉLECTROGÈNE A DOUBLE COURANT DE MM. SIEMENS ET HALSKE, DE VIENNE

Parmi les machines diverses exposées par MM. Siemens et Halske, de Vienne, deux ont particulièrement attiré l'attention des électriciens.

Ces machines étaient : un alternateur à courants triphasés auto-excitateur et un compensateur pour distribution à 5 fils, basés tous deux sur l'emploi d'un enroulement spécial dû à l'ingéniosité de M. Giovanni Ossanna, ingénieur en chef de MM. Siemens et Halske, de Vienne.

Nous nous occuperons uniquement de la première machine que nous décrirons avec détails.

L'alternateur auto-excitateur de MM. Siemens et Halske, de Vienne, était accouplé à un moteur à vapeur de MM. Brand et Lhuillier sur lequel nous dirons d'abord quelques mots.

Ce groupe est représenté sur la photographie de la figure 1 et sur les figures d'ensemble 2 et 3.

Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur de MM. Brand et Lhuillier est du type horizontal compound jumelé et à condensation.

Les dimensions et constantes principales en sont les suivantes :

Diamètre du petit cylindre	36 cm
» du grand cylindre	55 »
Course commune des pistons	60 »
Vitesse angulaire en tours par minute	120
Pression de la vapeur en kg : cm²	10

La puissance normale de la machine est de 150 chevaux indiqués avec la marche à condensation.

La distribution sur le petit cylindre (fig. 4 et 5) se fait par soupape du type Knöller, à course contrainte. Dans ce dispositif le mouvement de la soupape d'admission est obtenu par un système de deux cames dont l'une est clavetée sur l'arbre de commande de la distribution, actionnée par engrenage par l'arbre principal, et dont l'autre, montée folle sur cet arbre, est en relation directe avec le régulateur d'un type spécial.

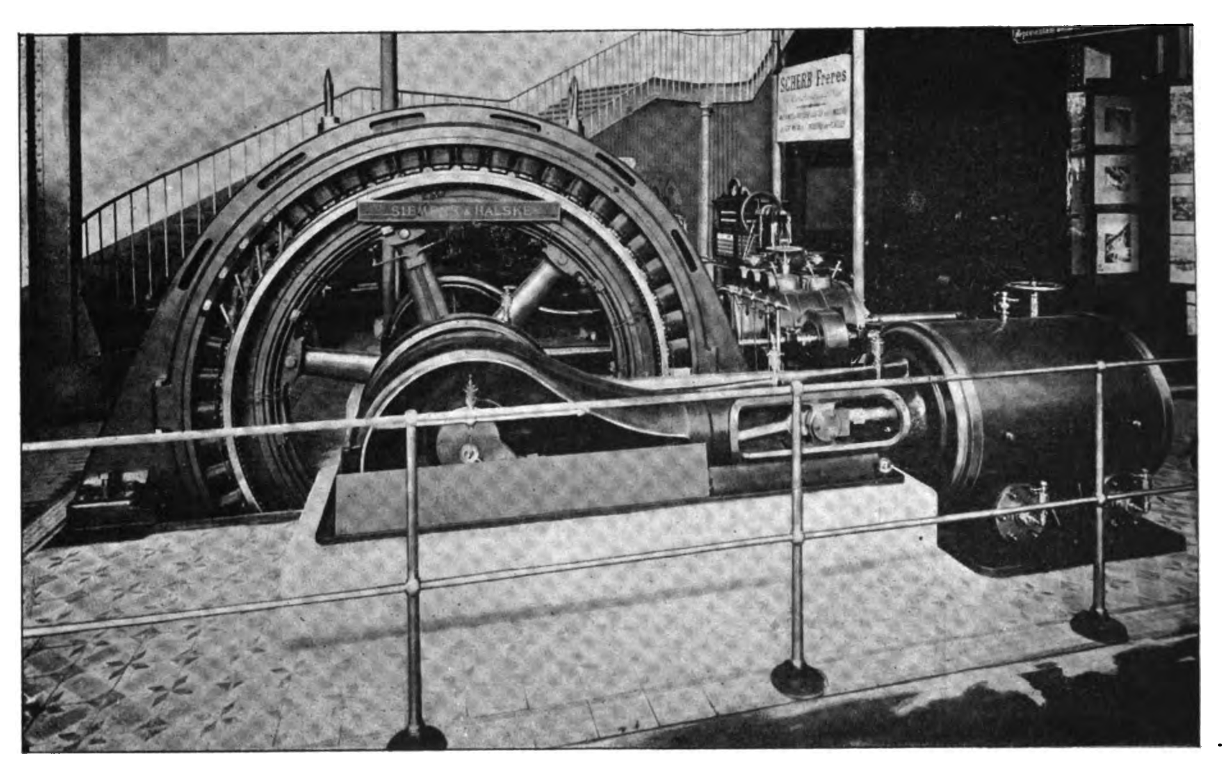


Fig. 1. — Groupe électrogène à courants triphasés de MM. Siemens Halske de Vienne et de MM. Brand et Lhuillier de Brünn.

Sur ces deux cames frottent deux galets placés aux extrémités d'un levier coudé à angle droit oscillant autour d'un axe situé en son milieu et auquel il communique le déplacement combiné des deux galets.

Sur cet axe est monté la biellette de commande de la soupape.

Pour éviter l'emploi de presse étoupe difficile à exécuter avec de la vapeur surchauffée, le mouvement est transmis à la soupape par l'intermédiaire d'un axe oscillant à l'intérieur d'une caisse étanche. Le levier de commande de la soupape actionné par cet axe agit sur la tige de la soupape par l'intermédiaire d'un système à rotule.

Le levier qui reçoit le mouvement de la biellette de la soupape porte à son extrémité libre supérieure une petite boîte à ressort à travers laquelle passe la biellette qui porte à son extrémité un siège sur lequel s'appuie le ressort, ce qui force pendant la période d'échappement les galets à porter sur les lames.

Les figures 6 à 8 montrent les différentes phases de la distribution pendant un tour.

La figure 6 correspond à la position de soulèvement de la soupape ; le disque d'ouverture est sous son galet au point correspondant du commencement de sa montée pendant que



le galet de fermeture court sur le cercle extérieur de son disque. La biellette est de longueur telle que le siège du ressort touche la boîte contenant celui-ci; une rotation de l'arbre entraîne donc l'ouverture de la soupape, avec une durée du soulèvement constante.

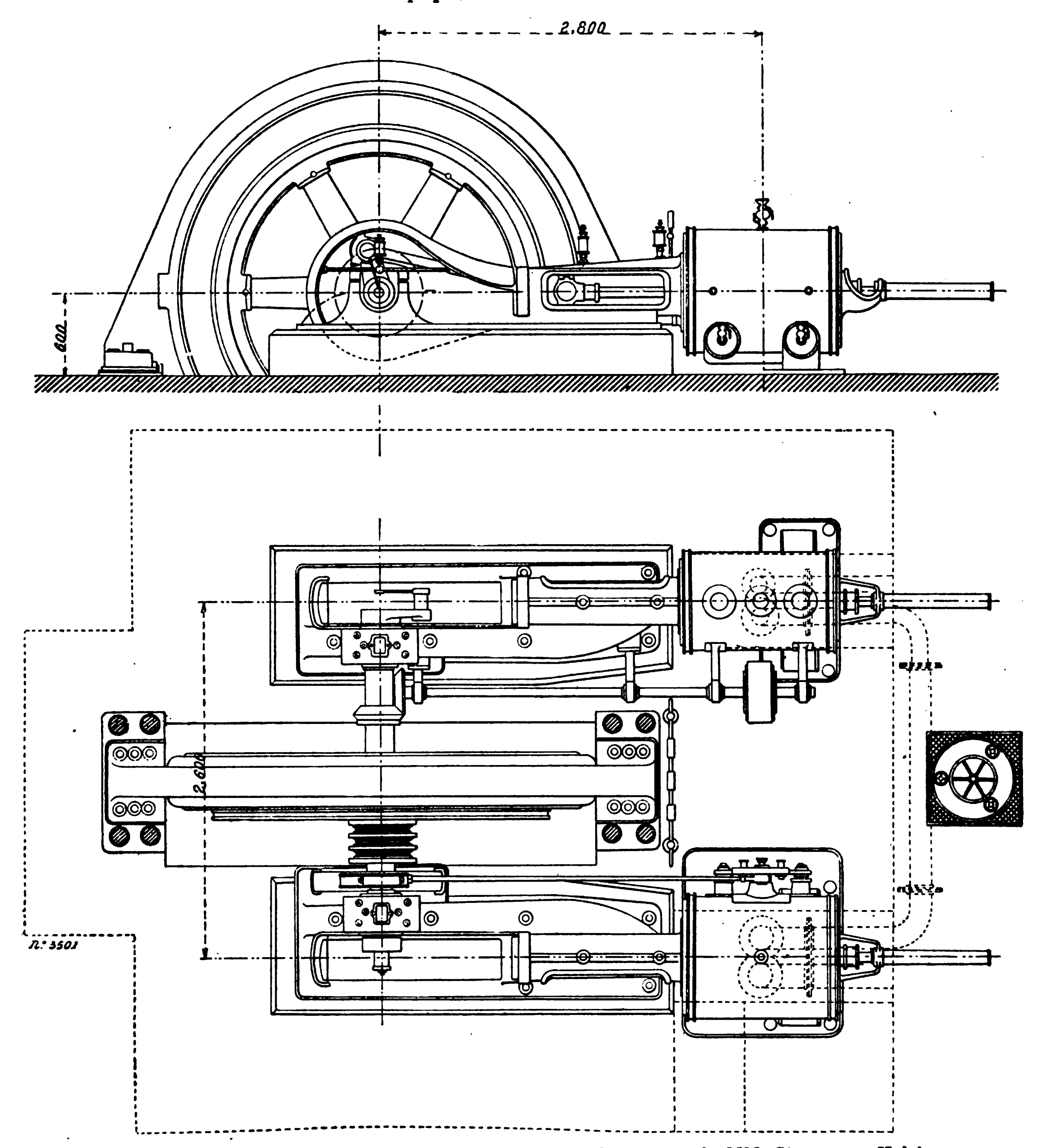


Fig. 2 et 3. — Vues en plan et en élévation du groupe électrogène de MM. Siemens et Halske et de MM. Brand et Lhuillier.

Sur la figure 7 la soupape est ouverte, les deux galets roulent sur les cercles extérieurs de leur disque, et la durée de l'ouverture dépend de la position relative de deux disques, c'est-à-dire de la position du régulateur.

Lorsque le galet de fermeture arrive sur son cercle de plus petit diamètre (fig. 8), le galet d'ouverture continuant à se déplacer sur le cercle de plus grand diamètre de son disque, par suite de l'égalité des deux bras du levier coudé, la biellette de commande est dans la même position qu'avant le soulèvement et la soupape est fermée et la durée de la fermeture est indépendante de celle de l'admission.

L'ouverture complète de la soupape n'a lieu que pour des admissions supérieures à 7 p. 100.

Les soupapes d'admission sont commandées par un dispositif analogue, mais sans action du régulateur.

La distribution sur le cylindre à basse pression se fait par tiroirs cylindriques, genre Corliss, l'admission et l'échappement sont réglables à la main.

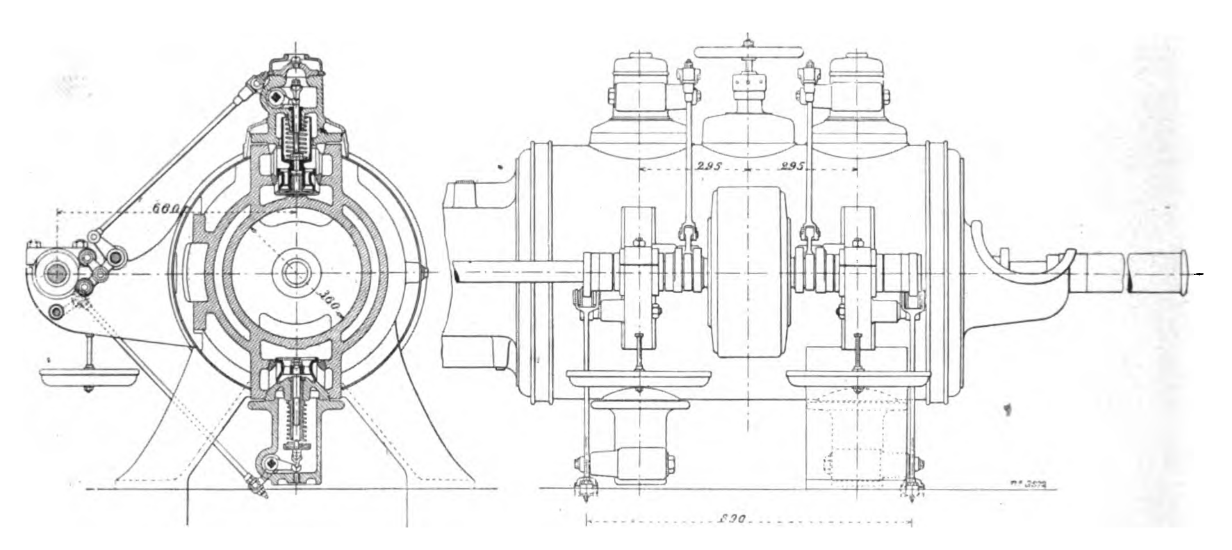


Fig. 4 et 5. — Coupe transversale et vue d'ensemble du cylindre à haute pression du moteur Brand et Lhuillier.

Le régulateur, du type Knöller également, est calé sur l'arbre même de commande de la distribution entre les cames de commande des soupapes d'admission.

Ce régulateur représenté sur les figures 9 et 10 se compose de deux masses ou de couteaux équilibrés par des ressorts fixés au moyeu du régulateur.

Les masses commandent des petites bielles reliées aux cames folles de la distribution. Les extrémités des masses agissant sur les ressorts portent des petits bras solidaires de plateaux à gorge sur lesquels viennent buter les ressorts, et logés à l'intérieur du ressort.

Ces bras sont terminés par de petites roulettes qui viennent s'appuyer sur une surface courbe par suite de l'excentricité des gorges d'appui des ressorts.

La machine à vapeur exposée par MM. Brand et Lhuillier peut supporter des vitesses allant jusqu'à 200 tours par minute.

Les manivelles et les bielles sont recouvertes d'une enveloppe en fonte destinée à éviter les projections d'huile.

Alternateur. — L'alternateur auto-excitateur de MM. Siemens et Halske, accouplé au moteur Brand et Lhuillier, est d'une puissance de 150 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance minimum de 0,8; sa puissance utile dans ce cas est de 120 kilowatts.

La tension aux bornes est de 270 volts et la tension simple de 156. Le débit par phase ou mieux par conducteur extérieur est de 320 ampères.

La vitesse angulaire est de 120 tours par minute et le nombre de pôles de 48; la fréquence est par suite de 48 périodes par seconde.

La principale particularité de cette machine réside dans la constitution de l'enroulement induit lequel est composé de deux enroulements différents, l'un en étoile et l'autre en triangle, et donnant des tensions aux bornes identiques de façon à pouvoir être connectés entre eux.

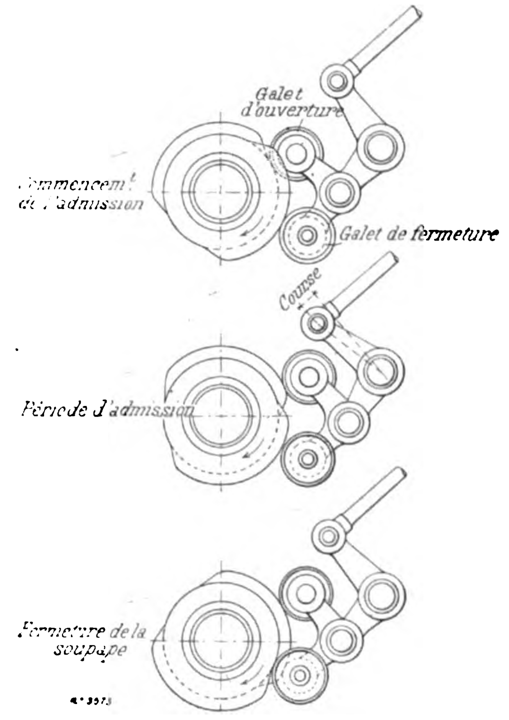


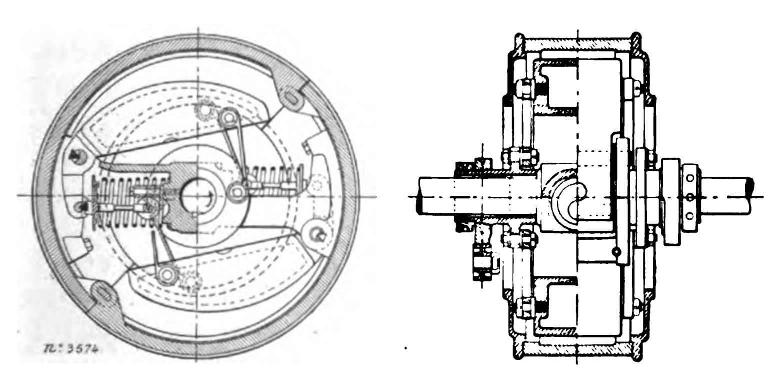
Fig. 6, 7 et 8. — Positions diverses des galets de la distribution Knöller sur les cames.

Le but de ce double enroulement est de pouvoir alimenter à la fois un circuit d'éclairage à une tension qui ne doit pas dépasser 150 volts et un circuit de transport d'énergie pour lequel la tension, à cause de la distance, ne peut être inférieure à 250 volts, tout en conservant la possibilité d'exciter l'alternateur en redressant une partie du courant produit. L'espace disponible ne permettait pas d'employer une excitatrice séparée ou calée sur l'arbre.

Eventuellement, la machine peut aussi produire du courant continu en plus grande proportion que pour son excitation.

Un alternateur ordinaire, avec enroulement groupé en triangle, n'aurait pu remplir le but, car il eût été nécessaire d'employer des transformateurs ou des auto-transformateurs pour permettre le montage des phases en étoile ou obtenir un point neutre pour le connecter au quatrième conducteur du circuit d'éclairage.

L'obtention de deux enroulements séparés sur l'induit, un pour le courant continu, l'autre pour le courant alternatif avec montage en étoile, est pratiquement difficile à réaliser parce que ces deux enroulements demandent en général des nombres d'encoches différents. Le dispositif imaginé par M. G. Ossanna et breveté par MM. Siemens et Halske, résout facilement ce problème comme nous le verrons plus loin.


Fig. 9 et 10. — Coupes transversale et longitudinale d'un régulateur Knöller du moteur Brand et Lhuillier.

L'alternateur auto-excitateur de MM. Siemens et Halske est représenté sur les figures 11 et 12 qui sont des vues d'ensemble avec coupes partielles de l'induit et de l'inducteur. Les figures 13 et 14 montrent des coupes par l'axe et perpendiculaire à l'axe d'une partie de l'induit et de l'inducteur.

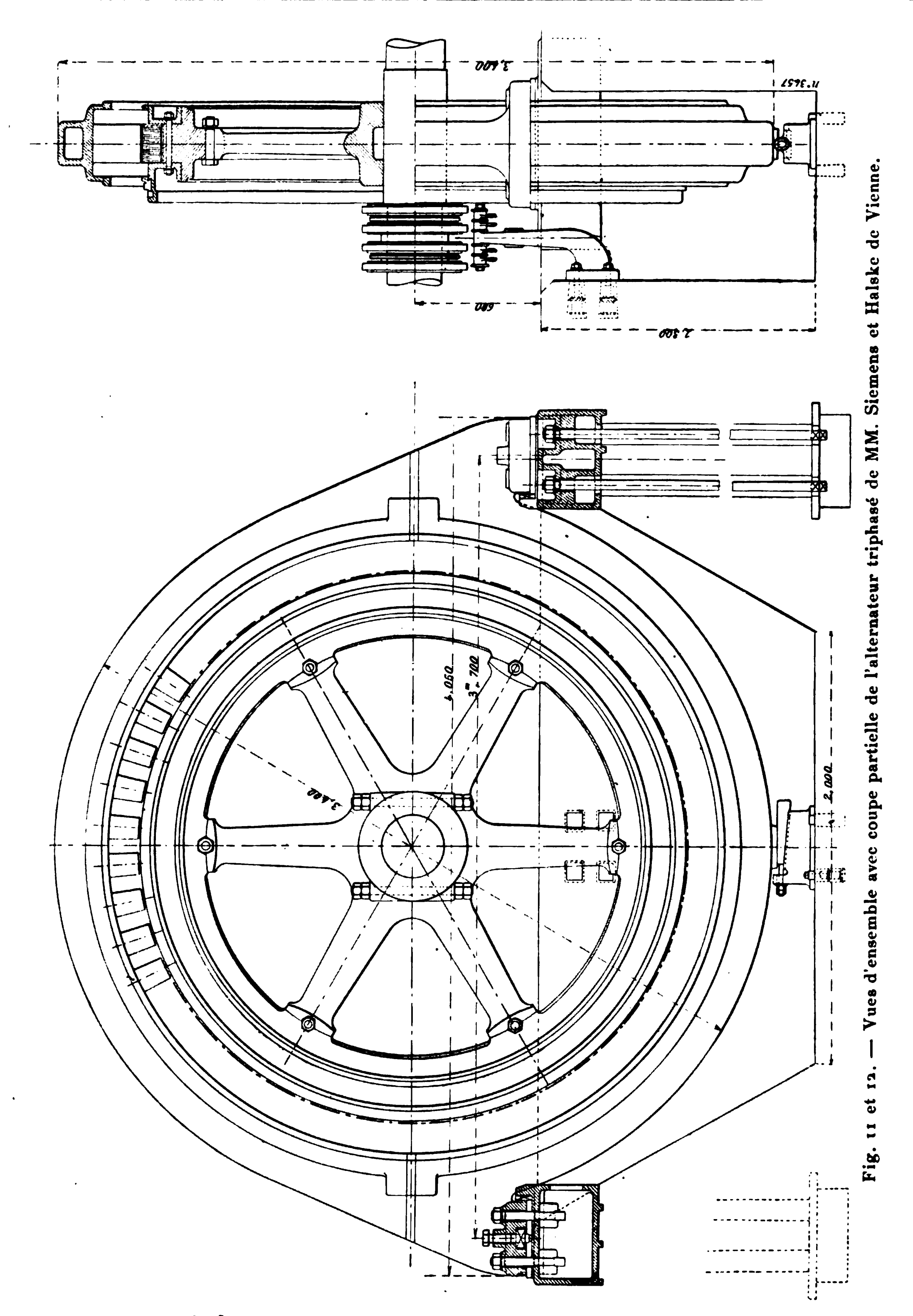


Fig. 11 et 12. — Vues d'ensemble avec coupe partielle de l'alternateur triphasé de MM. Siemens et Halske de Vienne.

Inducteurs. — Les inducteurs fixes sont constitués par une caisse cylindrique en fonte, en deux parties, portant les pôles inducteurs venus de fonte, ainsi que deux protecteurs. La

partie inférieure porte deux larges pattes qui reposent sur deux bancs scellés à la maçonnerie.

Pour faciliter le réglage de l'entrefer, on a disposé sur la carcasse des vis calantes qui permettent d'obtenir un déplacement vertical de la machine. Le réglage une fois terminé, des cales en acier en forme d'U sont glissées entre les empattements et les bancs et les boulons de fixation, à clavettes, sont serrés. Des cales placées verticalement sont également glissées entre les pattes et rebords des bancs parallèles à l'axe, de façon à prévoir toute déformation dans le sens horizontal.

A la partie inférieure, la carcasse inductrice repose sur un support placé au fond de la

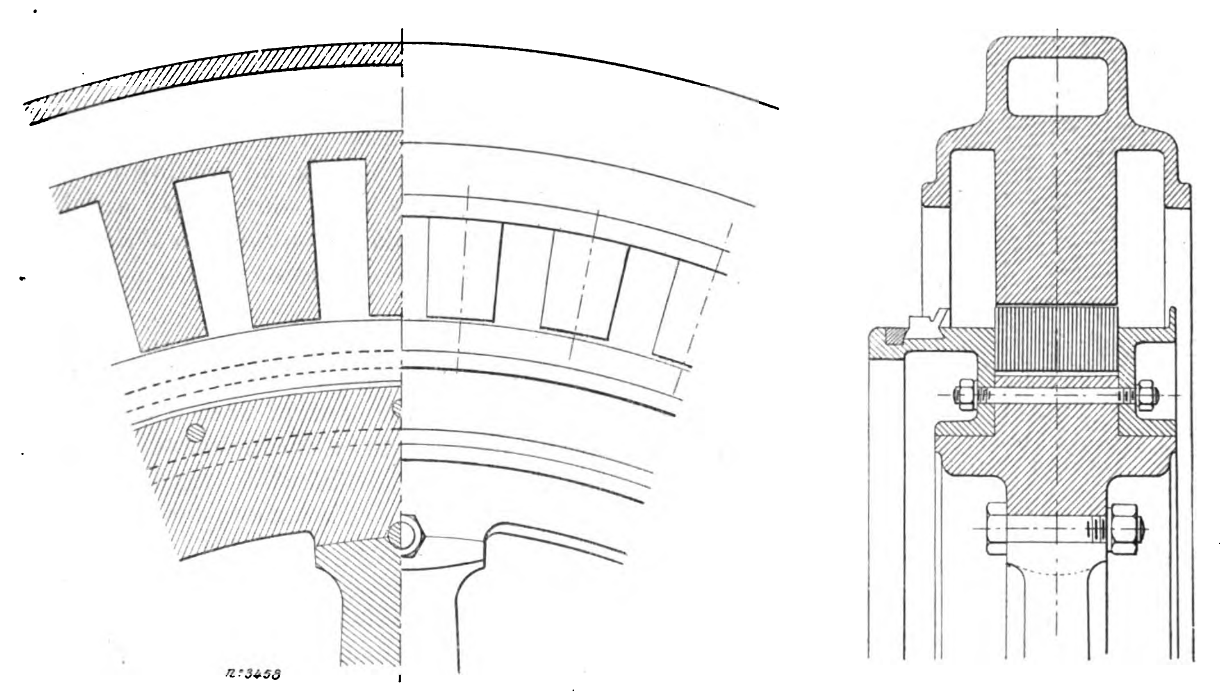


Fig. 13 et 14. — Coupes par l'axe et perpendiculaire à l'axe d'une partie de l'induit et de l'inducteur de l'alternateur Siemens et Halske.

fosse et muni d'un coin de rattrapage qu'on dépasse avec un écrou. Le diamètre extérieur de la carcasse est de 3,4 m et sa largeur de 40 cm.

Les 48 pôles inducteurs de forme prismatique ont une largeur parallèle à l'axe de 18 cm. Leur largeur perpendiculaire à l'axe est de 10 cm dans l'entrefer et de 12 cm près de la carcasse. Il n'y a pas d'épanouissements polaires.

Le diamètre d'alésage des inducteurs est de 261 cm et l'entrefer de 5 mm.

Les bobines inductrices sont enroulées sur des carcasses métalliques fixées aux pôles inducteurs. Chacune d'elle comporte 430 spires de fil de 3,05 mm de diamètre.

Toutes les bobines inductrices sont montées en série; la résistance du circuit ainsi obtenu est de 36,5 ohms à chaud.

Le poids de cuivre utilisé sur l'inducteur est de 900 kg.

Induit. — L'induit mobile forme le volant du moteur. Il est constitué par une jante en fonte coulée en une seule pièce et supportée par une étoile à 6 branches, en deux parties, serrée sur le moyeu par 4 boulons. Le diamètre extérieur de la jante du volant est de 2,4 m; sa largeur est de 36 cm dans la partie la plus large et de 18 cm, dans la partie la plus étroite.



Deux couronnes à section en forme d'U sont disposées une de chaque côté de la partie la plus étroite du volant et sont serrées entre elles par des boulons. L'une de ces couronnes est prolongée sur son plus grand diamètre de façon à servir de support au collecteur.

Les tôles induites emmanchées sur des clavettes en queue d'aronde sont serrées en un seul bloc entre ces deux couronnes.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 260 cm et sa largeur de 18 cm. La hauteur radiale des tôles est de 10 cm.

La surface extérieure de l'induit porte 345 rainures demi-fermées dans lesquelles sont répartis les enroulements induits.

Ces enroulements induits, au nombre de deux comme on l'a dit plus haut, sont formés par deux enroulements multipolaires ondulés en série parallèle superposés l'un à l'autre et connectés convenablement entre eux.

L'enroulement en étoile est tout d'abord placé dans les encoches. C'est un enroulement ondulé série-parallèle du type Arnold avec 6 circuits en parallèle et avec un pas d'enroulement égal à 43.

Pour obtenir un enroulement triphasé étoilé avec cet enroulement, on l'a ouvert, comme le montre le schéma de la figure 15, en des points convenables qu'on a connectés à trois conducteurs destinés à réunir les points homologues et qui aboutissent à trois bagues de prise de courants.

On forme ainsi 3 circuits par phase, A_1 E_1 A'_1 E'_1 A''_1 E''_1, par exemple pour la phase I connectée aux conducteurs II et III, dont les points milieux a_1, e_1, a_1', e'_1, a''_1 e''_1, sont réunis à un conducteur neutre qui aboutit à une quatrième bague de contact correspondant à un point neutre de l'enroulement.

Le nombre de barres par encoche pour cet enroulement est de 6, soit 2070 conducteurs pour tout l'induit. Chaque circuit tel que A_1 E_1 comprend par suite 230 conducteurs.

Les deux parties telles que A_1 a_1 et e_1 E_1 d'un circuit ont le même nombre de conducteurs et donnent, comme on le voit facilement, des tensions décalées entre elles de 60°. Le système est donc en réalité un système à 6 phases qu'on a connectées convenablement pour le transformer en système triphasé.

Fig. 15 et 16. — Schémas du bobinage des deux enroulements induits de l'alternateur Siemens et Halske suivant le dispositif de G. M. Ossanna.

La figure 17 résume schématiquement les connexions des circuits A_1 a_1 e_1 E_1, A_2 a_2 e_2 E_2,

A_2 a_2 e_3 E_3, et les directions des tensions. Il y a 3 systèmes analogues et par suite 6 circuits en parallèle par phase.

Le second enroulement est identique au premier et placé dans les mêmes dents au-dessus de celui-ci, mais aucune coupure n'est faite dans cet enroulement qui reste ainsi fermé sur lui-même.

Il est connecté tout d'abord à la façon ordinaire aux 1035 lames du collecteur et forme ainsi un enroulement de machine à courant continu série parallèle avec 1035 sections de 2 conducteurs chacune et 6 circuits seulement en parallèle. De plus, les points qui, dans le premier enroulement, étaient réunis au conducteur neutre sont maintenant connectés à un des trois conducteurs du circuit étoilé; le milieu a_1 e_1 du nouveau circuit (E_3'' A_1) (E'_1 A_2) étant réuni au conducteur III.

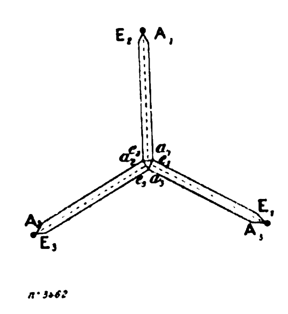


Fig. 17. — Diagramme des tensions de l'enroulement étoilé de l'alternateur Siemens et Halske.

Fig. 18. — Diagramme des tensions de l'enroulement en triangle de l'alternateur Siemens et Halske.

Le diagramme des tensions des deux circuits du second enroulement et se rapportant comme plus haut à un tiers de cet enroulement se déduit de celui de la figure 7. Il est représenté sur la figure 8 et montre que les tensions aux bornes sont bien égales en grandeur et décalage à celles du premier circuit. Il y a encore ici 3 systèmes analogues, chaque phase comporte par suite 3 circuits seulement en parallèle.

Les deux circuits étant superposés l'un à l'autre, les conducteurs seront dans des conditions identiques d'induction, les tensions induites réelles dans les deux circuits seront donc égales, et par suite les deux circuits fourniront chacun des débits dans le rapport inverse des résistances ohmiques.

La section des barres induites des deux enroulements est de 4 mm sur 2,5 mm, soit 10 mm²

La résistance de l'induit par phase est de 0,0087 ohm et le poids de cuivre utilisé sur l'induit de 170 kg.

Les courants alternatifs sont recueillis par les quatre bagues calées sur l'arbre dont nous avons parlé plus haut. Ces bagues ont un diamètre de 50 cm et une largeur de 3 cm, sur chacune d'elles frottent 4 balais métalliques.

Le collecteur, dont les lames sont serrées sur son support par une frette en acier, a un diamètre de 2,6 m et une largeur utile de 3 cm. Sur ce collecteur frottent 4 balais métalliques.

Résultats d'essais. — L'intensité du courant d'excitation nécessaire pour obtenir la tension à vide de 270 volts à la vitesse normale est de 8,5 ampères. En court-circuit l'intensité normale de débit dans l'induit est obtenue avec un courant d'excitation de 2,3 ampères.

L'intensité du courant d'excitation en pleine charge de 150 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance de 0,8 est de 10,2. Cette intensité correspondrait à vide à une tension de 289 volts, la chute de tension est par suite de 7,2 p. 100.

***

COMMUTATRICE DE 500 KILOWATTS DE MM. SIEMENS ET HALSKE DE VIENNE

La commutatrice à courants triphasés exposée par MM. Siemens et Halske de Vienne était une des plus intéressantes à étudier de l'Exposition.

Sa puissance est de 500 kilowatts sous une tension aux bornes du circuit à courant continu de 550 volts, ce qui correspond à un débit de 910 ampères.

La tension entre deux quelconques des trois bagues de prise de courant des courants alternatifs est de 330 volts.

La vitesse angulaire est de 630 tours pour un fréquence de 42 périodes par seconde, cette commutatrice peut également fonctionner sans inconvénients à la fréquence de 50 périodes par seconde et, par suite, à une vitesse angulaire de 750 tours par minute. Le nombre de pôles inducteurs est de 8.

La commutatrice de MM. Siemens et Halske de Vienne est représentée sur les figures 1 à 4 qui sont des vues d'ensemble avec coupes partielles. La figure 5 est une demi-coupe par l'axe à plus grande échelle.

Inducteurs. — La carcasse inductrice est formée par une couronne en fonte coulée en une seule pièce et portant deux pattes par lesquelles elle repose sur un bâti le long duquel elle peut être déplacée dans un sens ou dans l'autre pour dégager complètement l'induit.

Sur cette carcasse sont rapportées deux couronnes ajourées qui servent à protéger les enroulements induits et inducteurs.

Le diamètre extérieur de la carcasse est de 165 cm et son épaisseur de 16 cm environ. La largeur totale, y compris les deux protecteurs, est de 69 cm.

Les pôles inducteurs sont feuilletés et ont la forme d'un double T, chacun est formé par une pile de tôles réunies par 5 rivets et est placé sur la carcasse dont il épouse la forme circulaire. Les pôles sont retenus à la surface intérieure de la carcasse par un procédé identique à celui employé sur la dynamo à courant continu de 1 000 kilowatts de la même maison c'est-à-dire par des clavettes à section trapézoïdale fixées à l'aide de vis.

Le diamètre d'alésage des inducteurs est 85,6 cm et l'entrefer de 8 mm.

La largeur des pôles inducteurs parallèlement à l'axe est de 40 cm. La largeur des noyaux dans le sens perpendiculaire à l'axe est de 16 cm et celle des épanouissements polaires, de 23 cm. L'excitation de la commutatrice est compound.

Les bobines inductrices sont enroulées sur des carcasses isolantes et retenues par les épanouissements polaires où elles sont serrées par des cales en bronze.

Les deux enroulements sont sur chaque bobine disposés l'un au-dessus de l'autre. L'enroulement en dérivation comporte 8 bobines montées en série; chacune d'elle comprend 1512 spires de fil de 2,05 mm. de diamètre.

La résistance du circuit en dérivation est de 88 ohms à froid. L'enroulement en série est formé par 8 bobines montées en parallèle, ces bobines sont constituées par une bande de cuivre de 25 mm de largeur et de 3 mm d'épaisseur; le nombre de spires est alternativement de 17 et de 18.

La résistance à froid, calculée, du circuit d'excitation série est de 0,0007 ohm.

Le poids de cuivre total des deux enroulements inducteurs est de 620 kilos.

Induit. — L'induit est monté sur un support en acier formé de deux croisillons fixés sur l'arbre par des frettes posées à chaud et serrés entre eux par des boulons.

Les tôles induites sont disposées entre deux anneaux venus de fonte avec les croisillons et sont serrés par des boulons isolés.



Elles sont réparties en 5 anneaux séparés par des évents de 10 mm d'épaisseur environ.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 84 cm et sa largeur totale y compris les intervalles pour la ventilation de 42 m.

La hauteur radiale des tôles est de 17 cm.

L'enroulement induit est réparti dans 112 rainures demi-fermées; c'est un enroulement tambour ondulé avec groupement en parallèle.

Fig. 1. — Commutatrice de 500 kilowatts de MM. Siemens et Halske de Vienne.

Chaque encoche comporte 6 barres de 20 mm. de hauteur et de 2,3 mm d'épaisseur disposées en deux rangées de 3 chacune.

La section du cuivre induit est de 46 mm² et le poids de cuivre employé sur l'induit de 235 kilos.

Les 672 conducteurs sont réunis deux à deux de façon à former 336 sections de deux conducteurs chacune et aboutissant aux 336 lames du collecteur.

La résistance de l'induit, prise à froid entre les balais du courant continu, est de 0,00355 ohm.

Le collecteur est monté sur un support claveté sur l'arbre; les lames isolées au mica sont maintenues par deux frettes en fer forgé posées à chaud et, de plus, serrées par un anneau fixé à l'aide de vis.

Le diamètre du collecteur est de 60 cm et sa largeur utile de 25 cm. Le support des

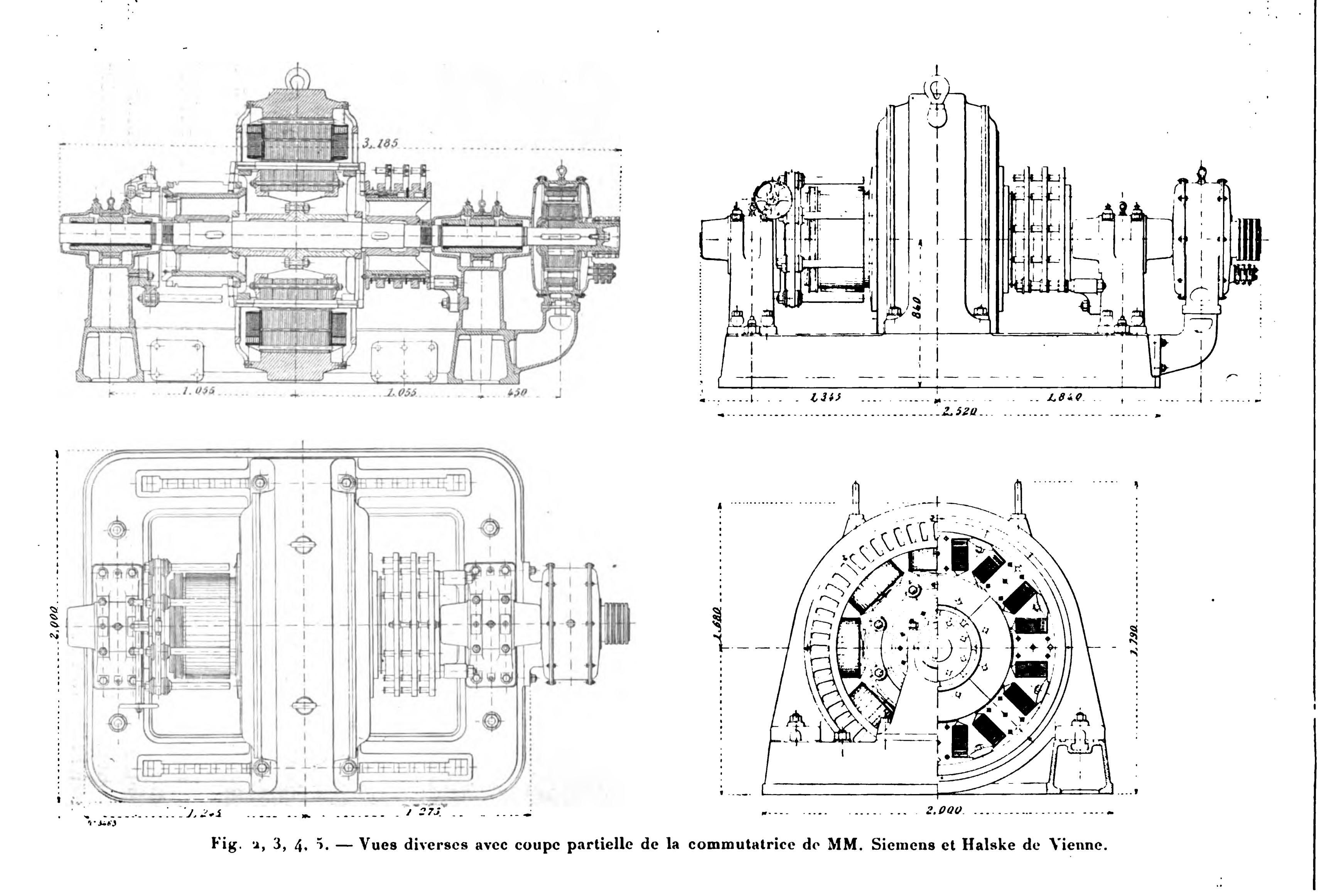


Fig. 2, 3, 4, 5. — Vues diverses avec coupe partielle de la commutatrice de MM. Siemens et Halske de Vienne.

porte-balais est constitué par une couronne de fonte mobile autour d'un anneau venu de fonte avec le palier et pouvant tourner à l'aide d'un volant à main et d'une vis tangente.

Les 8 axes des portes-balais sont munis chacun de 5 balais métalliques.

Les bagues d'amenée des courants alternatifs sont montées sur un croisillon analogue à celui du collecteur.

Ces bagues au nombre de 3 sont réunies chacune en 4 points de l'enroulement induit de façon à former 4 circuits en parallèle de 56 barres en série par phase.

Le diamètre des bagues de contact est de 60 cm et leur largeur de 5 cm.

Sur chaque bague portent 7 balais.

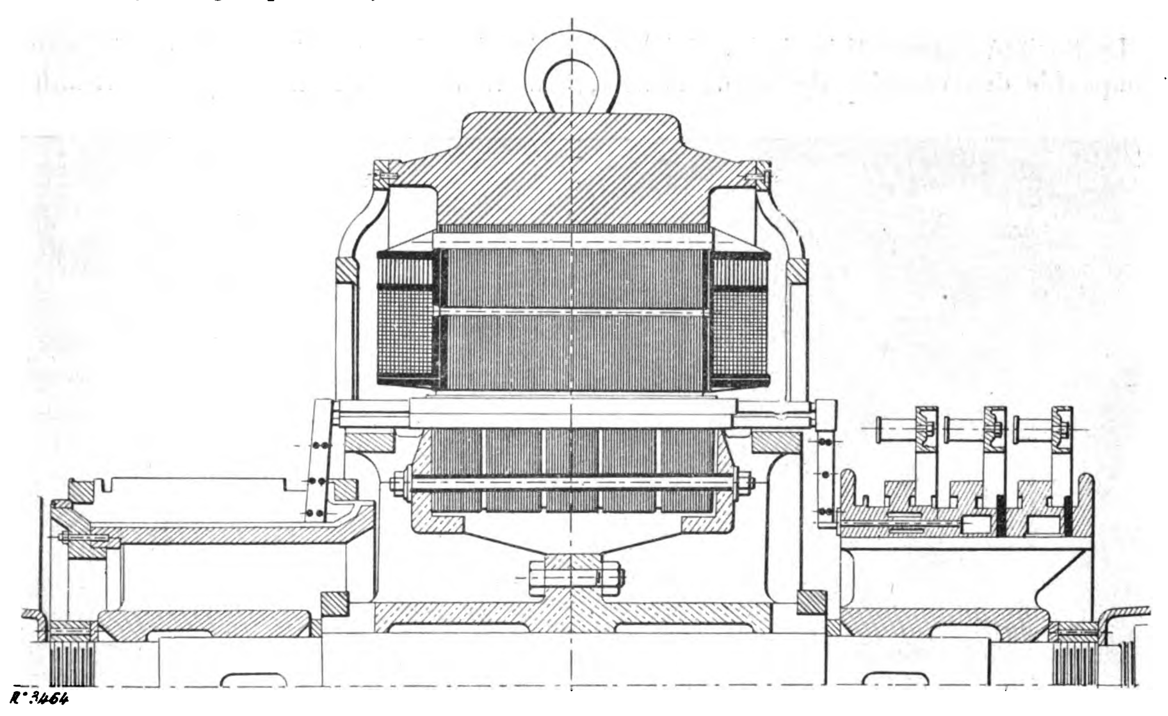


Fig. 6. Demi-coupe par l'axe de la commutatrice de 500 kilowatts de MM. Siemens et Halske de Vienne.

Le support des porte-balais des bagues est formé par 3 anneaux conducteurs concentriques isolés les uns des autres et supportés par deux axes qui viennent s'emmancher dans des équerres fixées au palier voisin.

Démarrage. — Lorsque le démarrage ne se fait pas à l'aide d'un courant continu fourni par la sous-station; il y a lieu d'employer les courants alternatifs eux-mêmes, pour faire démarrer l'appareil.

A cet effet, on cale sur l'arbre de la commutatrice un petit moteur asynchrone ayant deux pôles de moins que celle-ci. On peut donc atteindre facilement la vitesse de la commutatrice correspondant au synchronisme et la maintenir exactement en employant des résistances variables dans l'induit du moteur asynchrone.

Le moteur asynchrone en question a une puissance de quelques chevaux seulement; son inducteur est soutenu par une console fixée après le bâti.

Il est alimenté par les courants des transformateurs réducteurs.

Résultats d'essais. — Le rendement de la commutatrice de MM. Siemens et Halske de Vienne est de 94 p. 100.



Les pertes dans l'induit en pleine charge sont de 2 500 watts et celui-ci est suffisamment bien ventilé pour que la température ne puisse s'élever de plus de 30° à 35° C au-dessus de la température ambiante.

Les pertes totales à pleine charge sont de 3 000 watts. J. Reyval.

MOTEURS ASYNCHRONES ALIOTH A COURANTS TRIPHASÉS

La Société d'applications industrielles a installé dans le courant de cette année, pour la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, 3 moteurs asynchrones triphasés Alioth, de

Fig. 1. — Moteur asynchrone Alioth de 500 chevaux.

grandes dimensions, destinés à actionner directement des compresseurs d'air. Ces moteurs présentant des particularités intéressantes au point de vue électrique et mécanique, méritent une description.

La figure 1 en donne une vue photographique ; les figures 2 et 3 en montrent les coupes.

Ces moteurs sont capables de développer une puissance de 500 chevaux à la vitesse de 100 tours par minute, à la tension composée de 5 000 volts et la fréquence de 25 périodes. Ils sont directement accouplés avec des compresseurs qui compriment de l'air de 6 kg par cm² à 100 kg par cm². — Cet air comprimé est employé pour la traction.

Les spécifications de fonctionnement des compresseurs exigeaient que le rotor du moteur servit de volant au compresseur ; le poids de ce rotor a été calculé en conséquence.

Le diamètre de la partie tournante est de 2 996,5 mm, l'alésage de 3 000 mm ; l'entrefer est donc de 1,75 mm, sa largeur est de 750 mm.

L'enroulement primaire est disposé dans 450 trous répartis sur la circonférence et se compose de 225 bobines, bobinées dans des tubes de micanite ; le rotor est formé d'un enroulement en tambour triphasé, à trente pôles, disposé dans 720 trous. L'enroulement fixe ainsi que l'enroulement mobile sont en étoile. Les extrémités de l'enroulement mobile aboutissent à trois bagues. sur chacune desquelles frottent deux balais métalliques recueillant le courant secondaire, et le conduisant à un rhéostat composé de conducteurs plongés dans l'huile, que l'on a pu, par suite, fortement charger. Par suite de cette forte charge, ainsi que par l'agence-

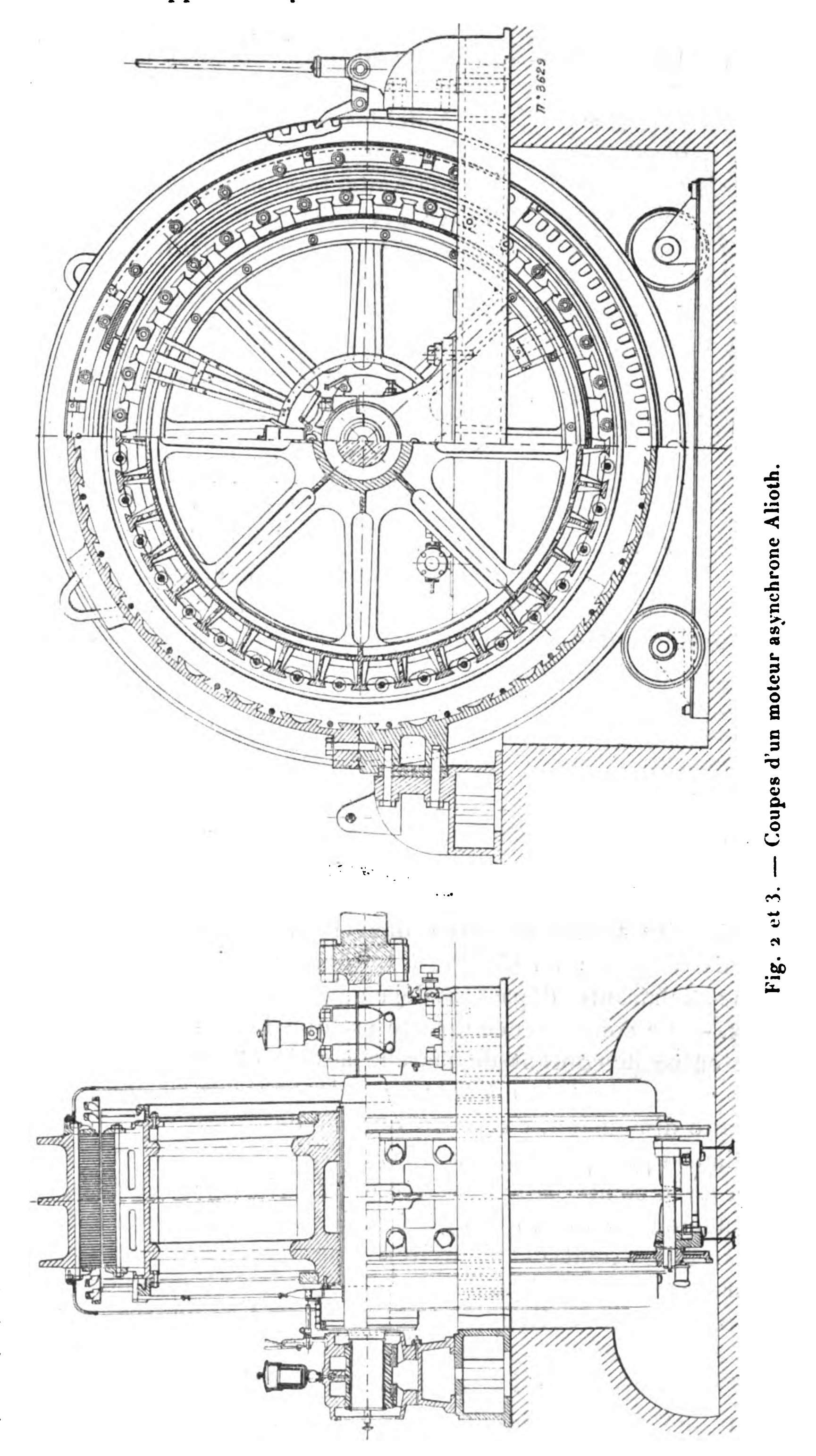
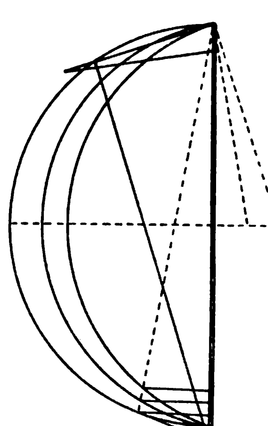


Fig. 2 et 3. — Coupes d'un moteur asynchrone Alioth.

ment particulier des conducteurs, les dimensions d'encombrement de ce rhéostat sont très faibles, ainsi qu'on peut le voir sur la figure 1 qui le représente à côté du moteur. Dès que le moteur a pris sa vitesse normale, l'enroulement mobile est mis en court-circuit par une disposition spéciale, et l'on relève les balais.


Fig. 4.

Voici les résultats d'essais de l'un de ces moteurs :

Marche à vide. — 25 périodes, 5 000 volts, 9,3 ampères, dépense 10 400 watts. Dans ces pertes sont compris 6 000 watts perdus dans le fer, perte calculée.

Marche en court-circuit. — 25 périodes, 976 volts, 50 ampères, dépense 25 200 watts.

Résistance du champ, par phase, 1,75 ohm.

Avec ces chiffres on a construit le graphique de Heyland (fig. 4) et on en a déduit les caractéristiques du moteur (fig. 5). On trouve pour une charge de 500 chevaux :

Courant	50 ampères environ.
Rendement.	92 p. 100
Facteur de puissance	0,93
Glissement	3 p. 100

Le moteur se décroche à 1 100 chevaux, et peut, par suite, supporter d'assez fortes variations de la tension. Cette condition était nécessaire, les moteurs devant être alimentés par un réseau très sujet à de semblables variations. A 160 chevaux, le rendement est déjà de 90 p. 100 ; il atteint environ 93 p. 100 à 370 chevaux et diminue ensuite légèrement.

Ce rendement élevé qui mérite d'être signalé, est dû à ce que la plus grande partie des pertes se produit dans le cuivre. De plus, malgré le grand nombre de pôles favorisant la dispersion, on est arrivé par un choix judicieux des dimensions des trous, et par une bonne répartition des enroulements, à des fuites magnétiques assez faibles ; ce qui, joint à la faible densité des lignes de force dans l'entrefer, a permis d'arriver, en charge, à un décalage des plus satisfaisants, dépassant déjà 0,9 à 300 chevaux. — La conséquence directe est que le rapport entre le courant de marche à vide et de pleine charge est de 1 à 5,4 ; pour des moteurs de cette dimension, c'est une qualité des plus précieuses puisqu'elle permet de réduire l'importance de la composante déwattée qui désaimante directement le champ des génératrices.

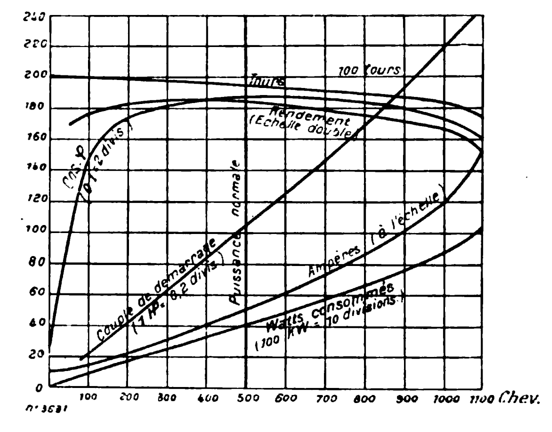


Fig. 5.

Le glissement est d'environ 3 p. 100, ce chiffre est une conséquence de la longueur de l'enroulement induit ; on aurait pu le réduire en employant du cuivre de plus grande section dans la partie tournante ; mais ce glissement ne réduit pas sensiblement le rendement. L'essai d'isolement a été fait en appliquant une différence de potentiel alternative de 1000 volts entre le bâti de la machine et l'enroulement fixe pendant une heure.

Au point de vue mécanique, des précautions ont été prises pour que, malgré les irrégularités de l'entrefer, inévitables en dépit des soins apportés au montage, et les attractions

qui en résultent, ni le bâti, ni l'arbre n'aient à craindre de déformations. C'est ainsi que le bâti a été muni de trois fortes nervures, et que l'arbre est plus fort qu'il n'aurait été nécessaire, en considérant simplement le poids du rotor sans tenir compte de la flexion. Au surplus le centrage peut se faire très exactement dans le sens vertical, en déplaçant les paliers, dans le sens horizontal en déplaçant le bâti ; ces deux mouvements s'obtiennent au moyen de coins de réglage. Cette disposition offre l'avantage que, lorsqu'après un long fonctionnement les coussinets présentent un peu d'usure, le centrage peut être fait vite et simplement. Le coin est placé de telle sorte que, après qu'on l'a retiré, on peut faire tourner le bâti autour de l'axe ; à cet effet sous le bâti, se trouve un cadre en fer à double T muni de quatre galets mobiles, sur lequel reposent les deux nervures extérieures du bâti; la nervure centrale est dentée, et engrène avec un cliquet commandé par un levier visible sur le dessin. — Vu le petit nombre de tours, le graissage à bagues n'avait peut être pas de raison d'être, et on a employé la disposition adoptée sur certaines machines à vapeur : une pompe à huile commandée par une courroie passant sur l'arbre, refoule de l'huile dans les paliers. Les impuretés qui, dans le cycle décrit par l'huile, viennent s'y mélanger, sont retenues par des filtres. Les coussinets sont largement dimensionnés et garnis de métal blanc.

La mise en court-circuit est obtenue de la même façon que dans les moteurs ordinaires Alioth. Les trois extrémités de l'enroulement induit sont réunies à trois contacts isolés en forme de coins. — Dans l'axe de l'arbre se trouve un trou dans lequel peut se mouvoir une tige cylindrique ; cette tige est reliée à une pièce mobile sur l'arbre, qui porte des balais non isolés correspondant aux coins formant contacts. A sa sortie de l'arbre, la tige porte une poignée montée folle, de façon à pouvoir rester immobile quand la machine tourne. — Pour mettre le rotor en court-circuit, il suffit de repousser la tige dans l'arbre, ce que l'on peut faire facilement à la main.

Le stator pèse environ 12 tonnes, le rotor 14 tonnes. Ces moteurs sont en fonctionnement depuis plusieurs mois déjà.

L. Trylski.

LES SYSTÈMES

DE TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE A GRANDE DISTANCE

DE PUPIN, THOMPSON ET REED (1)

Le but principal de cette note est d'exposer une théorie mathématique des systèmes de Thomson et de Reed, relatifs à la construction de lignes pour la télégraphie et la téléphonie à longue distance, au moyen de méthodes analytiques analogues et de même portée, pour des « oscillations forcées », que celles du Dr Pupin pour son propre système (2). Nous allons démontrer que, pour la télégraphie et la téléphonie à grande distance, les lignes construites d'après le système de Thompson ou celui de Reed, se comportent, jusqu'à un certain point, comme une ligne construite d'après le système Pupin.

(1) Extrait de *Electrical World and Engineer*, t. XXXVII, p. 440 et 477, 16 mars et 23 mars 1901.

(2) Voir la description du système Pupin dans *L'Éclairage Électrique*, t. XXVIII, p. 168.

****

I. Introduction. — De nombreux inventeurs se sont efforcés d'augmenter le rendement des lignes télégraphiques et téléphoniques de grande étendue. Tous les essais et expériences qui ont été faits peuvent être groupés en 2 catégories : la première a trait aux dispositifs employés aux extrémités de la ligne, et spécialement, aux appareils transmetteurs et récepteurs ; la seconde est relative à des procédés spéciaux de construction de la ligne entre les stations transmettrice et réceptrice.

Les recherches exposées ci-après concernent uniquement la construction des lignes, et nous ne nous occuperons pas de l'influence de dispositifs spéciaux aux extrémités de la ligne, ni de la construction des appareils transmetteur et récepteur : nous supposerons, dans nos formules [1] que l'impédance de ces deux appareils est nulle.

Nous devons aux beaux et persistants travaux de M. Olivier Heaviside, la plupart de nos connaissances théoriques sur la propagation des ondes le long des fils. C'est lui qui nous indique également, d'une façon générale, comment on doit établir, dans de bonnes conditions, une ligne télégraphique ou téléphonique à longue distance. M. Heaviside a montré qu'on devait porter l'attention d'abord sur les diélectriques, et ensuite seulement sur les conducteurs, que les perfectionnements dans la construction des lignes devaient permettre d'atteindre un double but : diminuer « l'atténuation » et diminuer aussi la « distorsion », et que ce double résultat pouvait ête obtenu en augmentant l'inductance de la ligne. Comme ceci est d'une importance fondamentale, nous allons l'expliquer brièvement.

Comment peut-on diminuer « l'atténuation » et la « distorsion. » par une augmentation de l'inductance ? Diminuer « l'atténuation » c'est diminuer la perte dans la ligne. Quel est donc le rôle que joue l'inductance de la ligne, dans la transmission de l'énergie ?

Considérons une ligne de transmission présentant de la résistance et de l'inductance.

D'après la loi d'Ohm, nous avons à chaque instant :

$$iR = Ee^{pt} - L\frac{di}{dt},$$

formule dans laquelle Ee^{pt} est la force électromotrice à l'instant t dans la ligne, i la valeur simultanée de l'intensité du courant, R la résistance de la ligne, L l'inductance de la ligne (coeff. de self-induction).

Multiplions les deux membres de cette équation par idt et nous obtenons l'équation de l'énergie

$$i^2Rdt = iEe^{pt}\,dt - iL\,dt\,\frac{di}{dt}$$

qui peut s'écrire

$$i^2Rdt + \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}\,Li^2\right)dt = iEe^{pt}\,dt$$

(en remarquant que $di^2 = 2\,idi$).

Le second membre représente l'énergie développée dans la ligne, à l'instant t, pendant l'élément de temps dt. Dans le premier membre, le premier terme représente l'énergie transformée en chaleur (effet Joule) ou énergie perdue dans la ligne ; le second terme est l'énergie accumulée dans le diélectrique. Pour obtenir une transmission d'énergie à haut rendement (maximum), il faut

[1] Il serait facile de rendre les formules plus générales en y introduisant les valeurs des impédances des appareils transmetteur et récepteur ; mais je ne crois pas qu'on puisse arriver ainsi à déterminer nettement l'influence de ces appareils : elle devra être considérée séparément, puisque ce n'est pas le but principal de cet écrit. A ce propos, je crois utile d'attirer l'attention sur l'intéressant mémoire du Dr Bresig, relatif à l'influence des procédés de transmission et de réception aux extrémités d'un long câble, sur les signaux (ETZ, 1900, 13 décembre). Les mémoires du Dr Créhore et du Dr Squier parus dans l'*Amer. Inst. Elect. Eng.*, sur « Un transmetteur pratique utilisant les ondes sinusoïdales pour la télégraphie par câble » et sur des « Mesures faites au moyen des courants alternatifs sur un câble transatlantique » (mai 1900) méritent d'être signalés à ce sujet.



faire en sorte que le premier terme soit petit, et le second terme grand. C'est dans la ligne elle-même que se produit la perte d'énergie, et c'est dans le diélectrique que l'énergie est accumulée et propagée le long de la ligne.

Nous voyons, d'après le deuxième terme du premier membre de l'équation, que, pour l'accumulation d'une certaine quantité d'énergie dans le diélectrique, il ne faut qu'une $n^{\text{ième}}$ partie du courant, si la valeur de l'inductance est portée de L à n^2 L ; dans ce cas, pourtant, la perte d'énergie par effet Joule est réduite à la $n^{2\text{ième}}$ partie de sa valeur, si la résistance R reste toujours la même. En d'autres termes, la perte dans la ligne, — et par conséquent « l'atténuation » — est diminuée aussi bien par l'augmentation de l'inductance que par la diminution de la résistance (¹).

Le second but à atteindre est la diminution de la « distorsion ». Des signaux envoyés périodiquement dans la ligne par le transmetteur peuvent être décomposés, d'après le théorème de Fourier, en une série d'ondes sinusoïdales de fréquences et de phases différentes. Un circuit sans « distorsion » est un circuit qui reproduit, sans modification du décalage, à l'autre extrémité de la ligne, les courants de toutes fréquences, atténués autant que possible, au même degré. Nous savons cependant que « l'atténuation » augmente avec la fréquence, comme on le montrera dans le chap. III. On y montrera aussi qu'on empêche cette atténuation en augmentant l'inductance. Dans le cas limite où l'inductance par unité de longueur de la ligne est grande en comparaison de la résistance, la vitesse de propagation et l'atténuation deviennent indépendantes de la fréquence, ce qui revient à dire que toutes les fréquences (les courants de toutes fréquences) seront transmises avec la même vitesse de propagation, et atténuées au même degré.

Il résulte de tout ce qui précède, qu'une ligne télégraphique ou téléphonique pour grande distance, pour être établie dans de bonnes conditions, doit avoir une grande inductance.

II. Distribution des sources d'inductance le long de la ligne. — Ce résultat général de la théorie de Heaviside ne suffit pas, pourtant, pour réaliser une application pratique, mais il provoque la question suivante : Comment faut-il répartir les sources d'inductance ? Dans un cas ordinaire de transmission d'énergie, la capacité de la ligne peut être compensée par l'emploi judicieux de bobines de réactance au poste transmetteur ou au poste récepteur. Mais ce moyen ne conviendra évidemment pas quand il s'agira de propager des ondes sur des lignes de grande étendue. Il est nécessaire, dans ce dernier cas, de distribuer les sources d'inductance à intervalles égaux tout le long de la ligne.

La théorie de Heaviside n'a pas indiqué à quelles distances les unes des autres on doit placer les sources de réactance. C'est cette lacune qui a longtemps empêché l'application pratique de cette théorie.

C'est à M. le Dr M. J. Pupin (²) que revient le mérite d'avoir posé le problème mathématique relatif à cette question, d'avoir développé les méthodes analytiques pour le résoudre, et enfin de l'avoir résolu dans le cas particulier de bobines d'inductance distribuées à intervalles égaux, en série, le long de la ligne de transmission.

Ce système particulier a été indiqué, en premier lieu, si je ne me trompe, par M. Olivier Heaviside, en 1893.

(¹) Cette explication n'est donc proposée que pour démontrer dans un cas spécial le rôle que joue l'induction dans l'accumulation d'énergie dans un diélectrique. Le cas de la propagation des ondes le long d'une ligne de grande étendue est beaucoup plus général. Dans ce cas, la capacité est distribuée le long de la ligne, et nous avons à considérer l'accumulation de l'énergie électrique et de l'énergie magnétique, et la transformation progressive de l'énergie magnétique en énergie électrique et inversement. Le point capital de l'explication ci-dessus se rattache bien au cas général. C'est dans la ligne que la perte d'énergie se produit, et c'est dans le diélectrique que l'énergie se propage ; et la propagation est réglée par l'inductance.

(²) Comme les deux mémoires du Dr Pupin parus dans l'*Amer. Inst. Elect. Eng.* « Sur la propagation des ondes électriques allongées », mars 1899 et « Sur la transmission des ondes le long des câbles non uniformes et des lignes aériennes de grande étendue », mai 1900, seront plusieurs fois cités dans ce qui suit, on est prié de se reporter à ces deux mémoires.



Dans un mémoire publié en 1900, M. le Dr Pupin a exposé la théorie mathématique de ce système, et donné une règle pour la détermination des distances auxquelles les bobines doivent être placées les unes des autres.

Le schéma (fig. 1) représente ce système.

Indépendamment de ce dispositif, deux autres systèmes de distribution des sources d'inductance le long de la ligne, ont été proposés et brevetés à une date antérieure.

L'un d'eux est le système défendu par le professeur S. P. Thompson dans un mémoire lu au Congrès d'électricité de Chicago en 1893 (1). Dans son discours présidentiel à la British institution of Electr. Engineer en 1899 (2) M. Thompson sollicite de nouveau un essai expérimental de son système. Ce qui caractérise ce dernier, c'est l'insertion, en dérivation sur la ligne et à grande distance les unes des autres, de bobines de résistance et d'inductance propres. Ce système est représenté schématiquement par la figure 2.

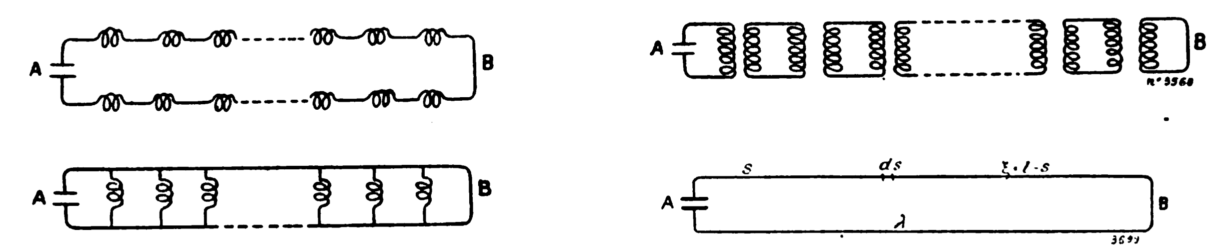


Fig. 1 à 4. — Dispositions Pupin, Thomson et Reed.

L'autre système est celui qui a été breveté par M. C. J. Reed en 1893 (3).

Il consiste à diviser tout le circuit en une série de circuits partiels reliés entre eux par l'intermédiaire de transformateurs, de telle sorte que l'enroulement secondaire d'un transformateur forme un circuit fermé avec l'enroulement primaire du transformateur suivant.

Le schéma (fig. 3) représente ce dispositif.

Dans le chapitre VII, nous montrerons que ce système (4) équivaut mathématiquement à une combinaison des systèmes Pupin et Thompson.

J'ignore si l'on a publié une théorie de la propagation des ondes dans les lignes construites d'après les procédés de Thompson et de Reed. Dans la conclusion de son mémoire de 1900, M. le Dr Pupin fait remarquer brièvement que les deux cas représentés par les figures 1 et 2 peuvent être obtenus par les méthodes qu'il a employées pour l'analyse de son système particulier (fig. 1), mais il ne donne pas l'analyse de ces deux cas.

Comme je crois que, indépendamment du système Pupin, les systèmes Thompson et Reed pour la construction des lignes, peuvent aussi jouer un rôle important dans le développement futur de la télégraphie et de la téléphonie à grandes distances, j'ai établi la théorie de ces deux derniers systèmes. Les méthodes analytiques employées dans ces recherches sont, en tous points, analogues à celles employées par le Dr Pupin.

III. Propagation des ondes dans une ligne uniforme. — Il est intéressant de résumer ici en quelques mots la théorie de la propagation des ondes dans une ligne uniforme (fig. 4). Pour avoir une théorie complète de ce cas, le lecteur n'aura qu'à se reporter au mémoire de 1899 du Dr Pupin, chap. I et à son mémoire de 1900, deuxième partie, chap. I.

(1) E. W., 1893, 2 septembre, *Elect. Eng.*, 1893, 30 août.

(2) *London Electrician*, novembre 1899.

(3) U. S., n° 510612 et 510613, 12 décembre 1893.

(4) Je remarque que ce système de transformateurs distribués le long de la ligne a aussi été indiqué par le professeur S. P. Thompson dans son mémoire de 1893 à Chicago.

La ligne est une boucle de fil AB. En A se trouve le transmetteur qui envoie dans la ligne une force électromotrice de valeur $E e^{ipt}$.

En B se trouve le récepteur. Nous supposons que l'impédance du transmetteur et celle du récepteur sont $= o$.

Soient R, L, et C la résistance, l'inductance, et la capacité par unité de longueur de la ligne. R est mesuré en ohms par mille (anglais), L en henrys par mille, C en farads par mille. Soit y l'intensité du courant en ampères à une distance quelconque s comptée en milles anglais à partir du transmetteur A, et soit $\xi = l - s$.

L'équation différentielle de y est alors

$$L \frac{d^2y}{dt^2} + R \frac{dy}{dt} = \frac{1}{C} \frac{\delta^2 y}{\delta s^2} \dots\dots \qquad (1)$$

Cette équation est satisfaite par l'intégrale donnée par le Dr Pupin

$$y = K_1 \cos M\xi + K_2 \sin M\xi \dots\dots \qquad (2)$$

pour toutes les valeurs de K_1 et K_2 proportionnelles à $E e^{ipt}$;

si

$$-M^2 = C(-p^2L + ipR) \qquad (3)$$

et si

$$M = \alpha + i\beta,$$

nous avons.

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \sqrt{\frac{1}{2} pC \left[\sqrt{p^2L^2 + R^2} + pL\right]} \\ \beta &= \sqrt{\frac{1}{2} pC \left[\sqrt{p^2L^2 + R^2} - pL\right]} \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

K_1 et K_2 peuvent être déterminés par les équations limites en A et B ; cela donne :

$$y = -\frac{ipCEe^{ipt} \cos M\xi}{2M \sin Ml} \qquad (5)$$

Si la force électromotrice exercée en A sur la ligne est la partie réelle de Ee^{ipt}, l'intensité du courant est la partie réelle de y dans (5). La longueur de l'onde λ est :

$$\lambda = \frac{2\pi}{\alpha};$$

le facteur correspondant à l'atténuation est

$$e^{-\beta\xi},$$

expressions dans lesquelles α et β ont les valeurs (4).

On verra que, puisque $p = 2\pi N$, où N est la fréquence, la constante qui détermine l'atténuation est d'autant plus grande que la fréquence est plus grande, c'est-à-dire que des fréquences plus grandes sont plus atténuées que des petites. Mais on verra ausssi que la constante β diminue quand L augmente. Dans le cas limite, où pL est grand, en comparaison de R, la vitesse de propagation est

$$v = \frac{p}{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

et la constante β devient

$$\beta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}$$



c'est-à-dire que v et β sont indépendants de p, et toutes les fréquences sont transmises avec la même vitesse de propagation, et atténuées au même degré, comme cela est indiqué dans la discussion générale de la théorie de Heaviside, au chapitre I.

IV. Equivalence entre les conducteurs non uniformes et les conducteurs uniformes qui leur correspondent. — Si la ligne de transmission n'est pas un conducteur uniforme, mais si elle comporte des sources d'inductance distribuées uniformément le long de la ligne, comme dans les systèmes Pupin, Thompson et Reed, la question qui se pose est la suivante : Comment faut-il distribuer ces sources d'inductance pour obtenir un résultat avantageux ?

Si elles ne sont pas réparties de façon convenable, il se produira des effets nuisibles dûs à des *réflexions*, et la transmission sera plus mauvaise que sur une ligne uniforme.

Dans son mémoire de 1900, Pupin a formulé ce problème mathématique de la façon suivante : « Dans quelles conditions des conducteurs non uniformes sont-ils équivalents à des conducteurs uniformes qui leur correspondent ? » Cette question a une grande importance, et il est nécessaire de bien la comprendre. « Dans quelles conditions » signifie : pour quelles distances entre les sources d'inductance et pour quelles longueurs d'ondes (ou fréquences) ? Être « équivalent » signifie : avoir des ondes approximativement de même longueur, et la même constante qui détermine l'atténuation. Le « conducteur uniforme correspondant » est un conducteur dont la résistance, l'inductance et la capacité sont distribuées *uniformément*, tandis que la résistance totale, l'inductance totale et la capacité totale de ce conducteur sont égales à celles du *conducteur non uniforme considéré.*

Pour son système de bobines d'inductance montées en série, Pupin a établi la règle suivante, qui peut être exprimée commodément par l'introduction du terme « distance angulaire » entre les bobines d'inductance, défini par l'équation

$$\varphi = 2\pi \frac{l}{\lambda}$$

dans laquelle l est la distance (en milles) entre deux bobines d'inductance successives, et λ la longueur d'onde (en milles). La règle de Pupin appliquée à son type de conducteur non uniforme est la suivante : Il existe entre le conducteur non uniforme et le conducteur uniforme qui lui correspond le même rapport qu'entre le sinus $\frac{\varphi}{2}$ et l'arc $\frac{\varphi}{2}$.

(*à suivre*).

F.-F. Roeber.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

DISTRIBUTION

Supports et tendeurs pour lignes aériennes de très longue portée. *The Electrical World*, t. XXXVII, p. 964, 8 juin 1901.

Ces appareils ont été imaginés et construits spécialement pour la ligne aérienne qui traverse le détroit de Carquinez, Californie, et dont nous avons décrit l'installation dans notre *Supplément* du 27 juillet (p. XLIII).

Les supports isolants sont construits pour résister à un effort de traction de 3 024 kg (7 000 liv. angl.) ; leur isolement correspond 10 000 volts. Ils se composent chacun de 6 isolateurs en porcelaine à triple cloche (celle extérieure ayant un diamètre de 42,5 cm), fixés par leur base sur des madriers ignifugés et recouverts d'un vernis isolant. Ces isolateurs sont placés par trois sur deux rangs (fig. 1), et supportent un plateau sur lequel est adapté une

selle métallique avec gorge médiane pourvue de rouleaux dans l'évidement desquels passe le câble aérien (fig. 2). Des gouttières sont ménagées autour de l'appareil pour rejeter l'eau des pluies hors des cloches en porcelaine et de leurs supports.

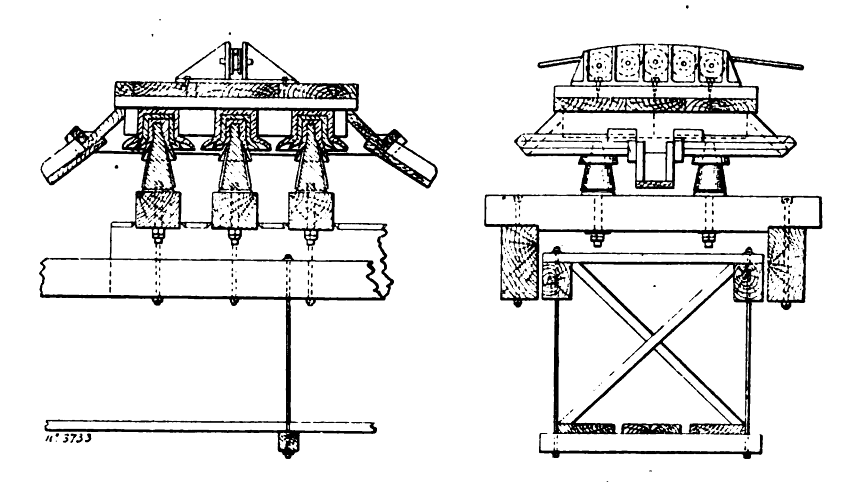


Fig. 1 et 2.

Les tendeurs isolateurs (fig. 3), sont composés d'une tige centrale en acier qui pénètre, en passant par un entonnoir en porcelaine et une garniture de micanite, dans un réservoir à huile. Cette tige est terminée par deux écrous ; l'écrou intérieur, très large, s'appuie, à travers les garnitures de micanite, sur un collier extérieur en acier dans la gorge circulaire duquel viennent s'adapter les deux griffes renforcées d'un joug en acier encadrant le tout. La queue de la tige de traction reçoit l'extrémité du câble aérien ; le joug reçoit la chaîne ou le câble d'attache en terre qui se trouve ainsi isolé du câble conducteur de courant.

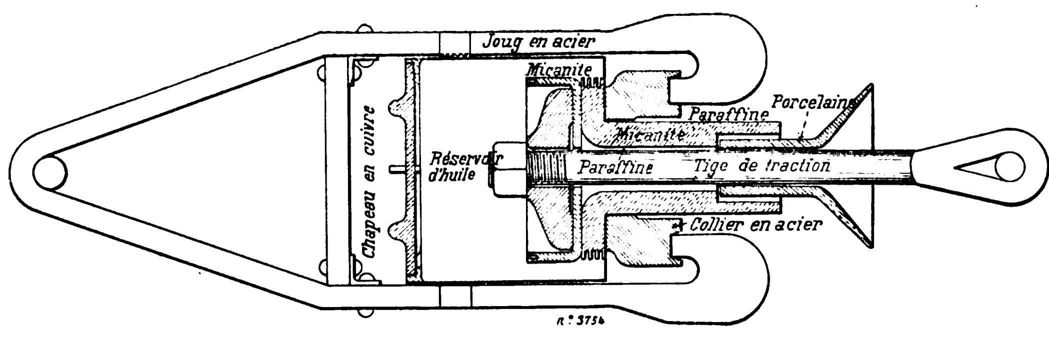


Fig. 3.

Dans l'installation qui nous occupe, ces appareils sont montés par deux en tandem pour chaque câble aérien de façon à assurer son parfait isolement. La figure 4 montre la disposition de ces appareils sur l'un des câbles de la ligne passant le détroit de Carquinez. L'ancrage se compose d'une solide tige de fer dont les nombreuses branches sont cimentées dans un bloc de béton. L'ensemble des appareils tendeurs-

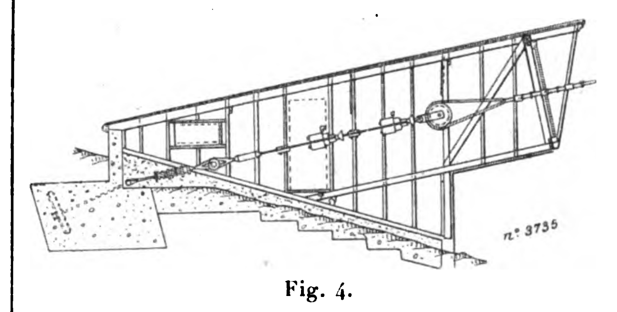


Fig. 4.

isolateurs est abrité sous une construction dans laquelle on accède par une porte latérale ; une grande vitre, percée au centre d'un trou par le passage du câble aérien, en ferme l'entrée de face.

L. D.

TRACTION

Appareil de sûreté Schonberger pour ligne aérienne de tramways électriques. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 452, 30 mai 1901.

Bien des appareils ont été construits afin de préserver les lignes de télégraphe ou de téléphone de tout danger, lorsqu'une de ces lignes vient à tomber sur le fil aérien d'une ligne de traction.

La première condition à remplir, pour écarter tout danger à la suite de la rupture d'un fil, est de mettre immédiatement hors circuit la portion de ligne où l'accident s'est produit.

L'appareil présenté par M. Hugo Schönberger de Vienne réalise automatiquement ce desideratum.

La figure 1 nous permet de nous rendre compte de suite du mode de fonctionnement de

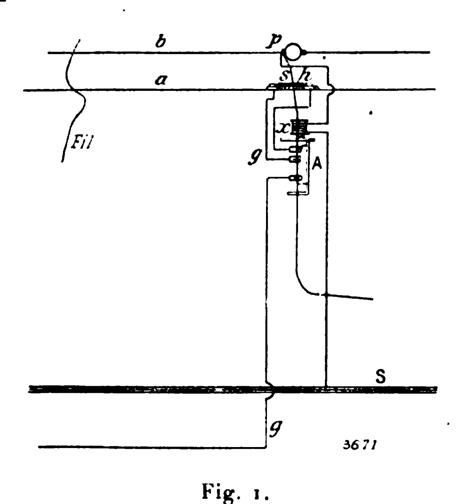


Fig. 1.

l'appareil, la figure 2 nous donne une coupe de l'appareil même.

Au-dessus de la ligne de traction a on tend un fil protecteur b, ce fil est divisé en autant de sections que la ligne aérienne de traction elle-même, sections isolées l'une de l'autre à l'endroit où est branché le câble d'alimentation g.

Dans le voisinage de ces endroits, aux maisons ou sur les mâts sont placés des interrupteurs A à déclenchement magnétique. Ces interrupteurs sont munis d'une trappe, pivotant à la partie inférieure autour d'une charnière et retenue à la partie supérieure par deux cliquets opposés et s'agraffant l'un dans l'autre au repos, dont l'un réglable par la vis z, sert d'armature à l'électro-aimant x dont l'enroulement est relié d'une part au fil de protection b, et d'autre part au rail S.

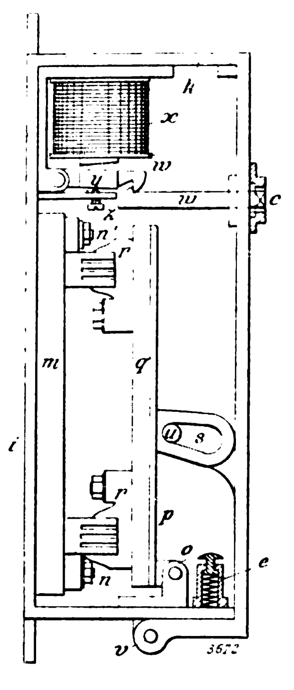


Fig. 2.

A la trappe est fixée une plaque isolante p, qui elle-même porte une plaque en fer q, sur laquelle sont vissés les deux couteaux qui pénètrent dans les balais réunis aux deux extrémités du câble d'alimentation g.

Supposons qu'un fil téléphonique ou télégraphique rompu tombe sur b, il viendra également en contact avec a, un courant passera donc dans l'électro-aimant. Le noyau s'aimante et attire son armature, par suite le cliquet w' perd son soutien, la trappe tombe ainsi que la plaque de fer q qui entraîne les couteaux dont elle est munie, et interrompt ainsi le courant dans le circuit où l'accident s'est produit ; on peut alors enlever facilement le fil du télégraphe.

P. D.



Appareils portatifs pour la vérification de l'éclissage électrique des rails.

L'intensité des courants *vagabonds*, sur les lignes où le rail sert de conducteur de retour, dépend en majeure partie de la qualité des joints, autrement dit, de leur résistance ohmique. Leur vérification, immédiatement après la pose ou quand la ligne est en service, a donc une importance capitale et exige un dispositif très simple, à cause des nombreuses opérations à effectuer.

I. Appareil de l'Allgemeine Elektricitæts-Gesellschaft. — Il consiste en un galvanomètre différentiel semblable à son galvanoscope ; il n'exige pas une source d'énergie étrangère ; il emprunte à la ligne elle-même le courant nécessaire à la mesure. Il repose sur le principe suivant : si on connecte les quatre bornes du galvanomètre différentiel à quatre points *a*, *b*, *c*, *d* (fig. 1) d'une barre métallique, le courant, qui traverse cette dernière dans le sens de la flèche,

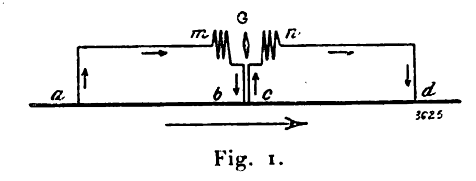


Fig. 1.

se dérive dans les circuits *amb*, et *cnd* du galvanomètre. Si les résistances des portions *ab* et *cd* sont égales, l'aiguille reste au zéro. Dans le cas contraire, elle éprouve une déviation d'autant plus grande que les résistances des segments diffèrent elles-mêmes davantage. En faisant glisser l'un des contacts, *d* par exemple, sur la barre, on peut toujours trouver un point pour lequel l'aiguille revient au zéro. Au point de vue électrique, le raisonnement subsiste encore si *b* et *c* se confondent, ou si les deux conducteurs sont réunis en un seul.

De cet exposé résulte la manipulation suivante. Pour faire un essai, on installe le galvanomètre à proximité de la voie de sorte que l'aiguille soit au zéro. (Un homme peut aussi porter l'appareil en bandoulière). Les fils 1 et 2 (fig. 2), sont réunis aux deux extrémités d'un rail, au moyen de cannes d'un mètre de long (fig. 3), terminées par des pointes très acérées pour avoir un bon contact. Le troisième fil est mis de la même manière en relation avec le rail voisin, sur lequel on fait glisser le contact jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre revienne au zéro. Alors la résistance de *ab* est égale à la résistance de *bd* augmentée de la résistance R du joint. L'étalonnage de la boite ne donne pas R en ohms, mais en longueur de rail ; par exemple, on dira que la résistance équivaut à

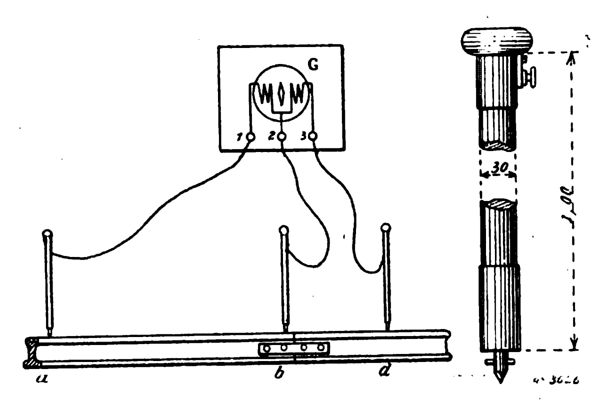


Fig. 2 et 3.

1,50 m de rail. De l'égalité R = *ab* — *bd*, on conclut que l'éclisse est parfaite si *ab* = *bd*; pratiquement on devra refaire l'éclisse toutes les fois que le galvanomètre donnera pour R des valeurs supérieures à 20 p. 100 de *ab*.

En désignant par δ la longueur *ab*, par γ la longueur *bd*, par *p* le poids du rail en kg par mètre, la résistance en ohms du joint sera donnée par la formule :

$$0,24 \times \frac{\delta - \gamma}{p} \times 10^{-3},$$

dont nous donnons plus loin l'explication.

L'exactitude des mesures est indépendante des variations que peut subir le courant de la ligne, mais il est essentiel que les points de contact aient la plus faible résistance possible et que les fils de connexion soient rigoureusement identiques ; aussi ces derniers sont-ils livrés avec l'appareil. Le galvanomètre est enfermé dans une boite qui peut se porter à la main ou en bandoulière ; son poids ne dépasse pas 4 kg ; la longueur des cannes est de 105 cm.

II. Appareil de Siemens et Halske [1]. — En

[1] Cet appareil est en vente chez MM. Ch. Rousselle et Ch. Tournaire, ingénieurs constructeurs électriciens, 52, rue de Dunkerque (Paris), qui ont eu l'obligeance de nous communiquer ces renseignements.

principe, il est identique au précédent; il en diffère seulement en ce que le galvanomètre différentiel est remplacé par un voltmètre différentiel d'une très grande sensibilité, puisqu'il donne le millième de volt.

La tige de contact A comporte deux pièces de contact mobiles a et b en acier (fig. 4). La distance de chaque contact au milieu de la tige est

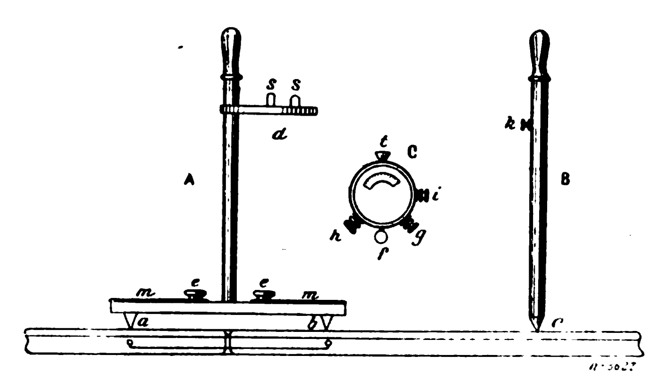


Fig. 4.

donnée sur une échelle m. La tige qui est munie d'une poignée supporte une petite table d munie de 2 fourches ss pour recevoir le voltmètre. Les fourches s sont en communication avec les pièces de contact a et b à travers l'échelle et les vis de fixation e. L'appareil complet comprend en outre une deuxième tige de contact B et le voltmètre différentiel C. Ce voltmètre est un petit instrument à aimant fixe et à bobine mobile, d'après le système Deprez-d'Arsonval. Ses indications sont, par conséquent, indépendantes des courants intenses qui circulent dans le voisinage et des autres influences magnétiques extérieures. La bobine est suspendue entre deux rubans fins en bronze, tendus par deux ressorts à spirale; ces ressorts sont en même temps deux arrivées de courant à la bobine; une troisième spirale forme une troisième arrivée de courant. L'instrument est pourvu de 3 bornes correspondant à ces 3 arrivées de courant, un commencement et une fin des deux enroulements étant reliés ensemble. Afin de pouvoir transporter l'appareil sans danger, il est muni d'un arrêt pour l'aiguille. On libère l'appareil en enlevant la vis moletée. Le voltmètre porte vis-à-vis de cet arrêt une touche t reliée à une borne g à droite de l'arrêt; à cette borne g est relié le conducteur commun des deux moitiés de l'enroulement; en abaissant la touche t, on ferme le circuit et, en tournant la touche abaissée, celle-ci reste enclenchée et le circuit est fermé à demeure. Les bornes g et h sont reliées à deux glissières à l'aide desquelles l'instrument peut être fixé sur les fourches s et est ainsi mis en communication avec les pièces de contact a et b. En mettant le voltmètre en place, il faut avoir soin que la troisième borne i soit éloignée de la tige A. L'échelle de l'instrument est divisée en millivolts, une division représentant un demi-millivolt. L'échelle est légèrement mobile afin de pouvoir étre mise exactement au zéro. Un étui en cuir avec courroie sert au transport de l'instrument.

Les mesures peuvent être faites, soit pendant la marche avec le courant variable de la station, soit pendant les arrêts avec courant constant. Dans le premier cas, les pièces de contact a et b de la tige A sont placées à une certaine distance l'une de l'autre, soit environ 0,75 m et les vis sont serrées. Cette distance doit à peu près correspondre à la longueur du fil de cuivre du joint. On fixe ensuite le voltmètre sur la petite table, on retire l'arrêt et on met l'échelle au zéro. La borne i du voltmètre est à relier à la borne k de la tige de contact B à l'aide du conducteur flexible qui est joint à l'appareil. On pose ensuite la tige du contact A sur le rail au-dessus d'un joint, de façon à ce que les pièces a et b soient bien en contact avec le rail. On attend que le rail soit parcouru par un courant assez fort donnant sur le voltmètre une déviation bien visible. On pose alors la seconde tige de contact B à environ quatre mètres de distance sur le rail, de façon à avoir également un bon contact. Si maintenant on obtient une déviation en sens contraire, le joint de rail est bon; dans le cas contraire, il doit être considéré comme mauvais. Pour mesurer la résistance, on déplace la tige B sur le rail, jusqu'à ce que le voltmètre n'accuse plus de variation durable. Soit δ mètres la distance entre les pièces de contact b et c et soit d'autre part γ mètres la distance entre les contacts a et b; le joint de rail aura une résistance correspondant à une longueur de rail de $\delta - \gamma$ mètres. En admettant que la résistance d'un rail de un mètre de longueur soit égale à $0{,}25 . \frac{l}{p} . 10^{-3}$ ohm, p étant le poids du rail en kilogrammes par mètre, la résistance à mesurer sera égale à $0{,}25 . \frac{\delta - \gamma}{p} . 10^{-3}$ ohm. Comme le poids du rail est toujours connu, on pourra

toujours déterminer à l'aide de cette formule la résistance en ohms. En pratique, cependant, il est préférable de considérer la longueur de rail qui a la même résistance que le joint.

Si l'on veut faire la mesure avec courant constant de 50 à 100 ampères, on procédera d'une façon plus simple sans la seconde tige B. Dans ce cas, un seul homme suffira. A cet effet, on placera la tige de contact A avec le voltmètre sur un bout de rail continu dans le voisinage du joint. On observera la déviation après avoir abaissé la touche ; ensuite on placera l'appareil sur un joint et on observera de nouveau la déviation. Si cette dernière déviation est au maximum 3 ou 4 fois aussi grande que la première, le joint de rail est bon ; dans le cas contraire, il faudra le considérer comme mauvais. Soit la déviation dans le premier cas α millivolts, dans le second cas, β millivolts et soit γ mètres la distance entre les pièces de contact a et b ; la résistance du joint correspondra alors à une longueur de rail de $\frac{\beta-\alpha}{\alpha}\gamma$ mètres [1]. Dans certains cas cette valeur peut être négative, lorsque grâce au fil de cuivre la conductibilité au joint de rail est meilleure que celle du rail continu. En faisant les mêmes suppositions que plus haut, on obtiendra la résistance du joint en ohms égale à

$$0{,}25\,\frac{\beta-\alpha}{\alpha}\cdot\frac{\gamma}{p}\,10^{-3}\,\text{ohm},$$

p désignant de nouveau le poids du rail en kilogrammes par mètre. B. K.

TÉLÉGRAPHIE

Le télégraphe Rowland, par **G. Robichon.** *Journal télégraphique de Berne*, t. XXV, p. 6, 25, 73 et 175, janvier, février, avril et juin 1901.

Parmi les appareils télégraphiques exposés dans la section électrique américaine de l'Exposition universelle, le télégraphe de Rowland a beaucoup attiré l'attention des spécialistes. Dans le *Journal Télégraphique*, M. G. Robichon a consacré à cet appareil une série d'articles que nous reproduisons.

S'il n'y avait quelque puérilité à employer une expression dont on a tant abusé à propos de la récente Exposition universelle et qui éveille à l'esprit plutôt l'idée d'une « attraction » que d'un appareil scientifique, nous dirions, écrit M. Robichon, que le télégraphe Rowland fut le *clou* de l'exposition télégraphique.

La forme tout à fait nouvelle donnée aux différentes parties de l'appareil, la disposition originale des récepteurs imprimant les télégrammes, non plus sur une bande, mais sur une feuille de papier ; le fonctionnement quelque peu mystérieux du système (dont certains organes étaient habilement dissimulés) ; l'ingéniosité des dispositions mécaniques adoptées ; la complexité des circuits électriques ont vivement piqué la curiosité des visiteurs et plus particulièrement des télégraphistes.

Nous ne pouvons songer à donner ici une description complète de cet intéressant appareil ; son mécanisme, assez compliqué, ne saurait être bien compris sans quelques figures explicatives qu'il nous a été impossible d'obtenir, et que nous n'avons pu reproduire de mémoire. Nous nous bornerons donc à exposer le principe, à en indiquer le fonctionnement et à signaler en passant quelques-uns des dispositifs les plus ingénieux imaginés par l'inventeur.

Principe de l'appareil. — Le système télégraphique inventé par H.-A. Rowland, professeur à Baltimore, est un appareil multiple imprimeur disposé pour effectuer 4 transmissions simultanées *dans un seul sens.* L'installation des appareils en *duplex*, d'après une des méthodes connues, permet d'obtenir simultanément 4 transmissions en sens inverse. Le montage en duplex est donc indispensable pour l'utilisation de cet appareil dans un service d'exploitation télégraphique.

Voici maintenant le principe sur lequel il est basé : Qu'on imagine une petite machine dynamo-électrique à courants alternatifs, mue par un moteur quelconque et reliée, par l'intermédiaire d'une ligne télégraphique, à une seconde machine

---

[1] En effet, on a : dans le premier cas, $R = \frac{k\alpha}{i}$, dans le second cas, $x + R = \frac{k\beta}{i}$;

d'où
$$\frac{x+R}{R} = \frac{\beta}{\alpha}$$
$$\frac{x}{R} = \frac{\beta-\alpha}{\alpha}\quad x = R\left(\frac{\beta-\alpha}{\alpha}\right).$$

Si la résistance R est exprimée en longueurs de rail, on aura également la valeur de x en longueur de rail :

$$\gamma\left(\frac{\beta-\alpha}{\alpha}\right).$$

dynamo-électrique à courants alternatifs, qui joue le rôle de réceptrice.

La ligne sera constamment parcourue par des courants électriques périodiques, alternativement *positifs* et *négatifs*, qui, agissant sur la dynamo réceptrice, l'obligeront à tourner en *synchronisme* avec la génératrice.

La transmission des signaux s'effectuera en rétranchant, *au départ*, pour chaque signal, une ou plusieurs demi-longueurs d'onde du courant alternatif et en rendant manifeste cette suppression, *à l'arrivée*, par la position occupée par une armature d'électro-aimant polarisé. Cette position pourra être utilisée pour fermer en temps opportun un circuit électrique dans d'autres électro-aimants, lesquels ont pour fonction de provoquer la mise en jeu d'organes destinés à produire l'impression des caractères représentés par les signaux transmis.

La figure 1 représente la courbe sinusoïdale des courants alternatifs, au départ, et la figure 2 indique la modification apportée à cette courbe

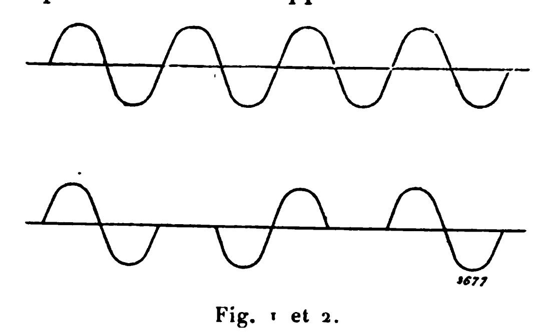


Fig. 1 et 2.

par la suppression des 3e et 6e demi-périodes.

Il convient de remarquer tout d'abord qu'étant donnée la manière dont le synchronisme est établi et maintenu entre l'appareil de transmission et celui de réception, au moyen des courants alternatifs qui parcourent la ligne quand le manipulateur est au repos, la manœuvre de ce manipulateur ne doit avoir, à aucun moment, pour effet de supprimer totalement ces courants alternatifs, ni même d'en retrancher la majeure partie, sous peine de compromettre ce synchronisme.

En second lieu, ainsi qu'on le verra par la suite, les courants alternatifs ne sont pas, à l'arrivée, reçus directement dans la dynamo réceptrice, comme nous l'avons supposé plus haut, mais bien dans un relais dont l'armature, sous l'influence de ces courants, oscille continuellement entre ses deux butoirs. La suppression d'une onde positive ou négative laisse l'armature dans la position où l'a placée l'onde qui précède immédiatement celle supprimée. Mais l'onde qui vient immédiatement après celle-ci a encore pour effet de maintenir l'armature dans cette même position, de sorte que, en fait, le retranchement d'une onde positive ou négative immobilise l'armature du relais pendant *trois* demi-périodes consécutives.

Il résulte de cette disposition qu'il n'est guère possible de rendre manifeste la suppression de 2 ondes successives, puisque le retranchement ou le maintien de la seconde produit le même effet sur le relais récepteur.

Ce sont sans doute ces considérations qui ont amené l'inventeur à faire usage de 11 demi-périodes ou ondes par secteur et à effectuer la transmission des signaux par le retranchement, pour chaque signal, de *deux* ondes non successives.

Il est facile de voir qu'il est possible d'obtenir ainsi 45 combinaisons différentes ([1]), ce qui est grandement suffisant. M. Rowland n'en utilise d'ailleurs que 41, dont voici l'affectation :

26 servent à représenter les lettres de l'alphabet (y compris le W) ;

8 correspondent aux chiffres 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9 (les chiffres 1 et 0 sont imprimés, comme dans la plupart des machines à écrire, avec les mêmes caractères que les lettres I et O) ;

3 sont affectées aux 3 signes de ponctuation . , - ;

1 représente le signe spécial indicatif des dollars, d'un fréquent usage aux Etats-Unis ;

Enfin 3 combinaisons sont uniquement affectées à obtenir les 3 déplacements différents du papier. Ces déplacements, nécessités par l'impression des caractères suivant des lignes transversales sur une bande de papier d'une largeur de 15 cm, qu'on découpe entre chaque télégramme, sont les suivants : 1° déplacement transversal pour la séparation des mots ; 2° retour en arrière pour l'impression d'une nouvelle ligne ; 3° déplacement longitudinal pour l'espacement des lignes.

Transmission des signaux. — La transmission s'effectue au moyen d'un manipulateur alphabétique dont le clavier ressemble à celui d'une machine à écrire.

([1]) $1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 = 45$.

Ce clavier se compose de 4 rangées parallèles de 10 touches ou boutons et d'une barre transversale inférieure servant à produire l'espacement des mots.

L'abaissement d'une touche détermine, par l'intermédiaire d'un levier horizontal L (fig. 4), articulé en son milieu, le soulèvement de 2 lames

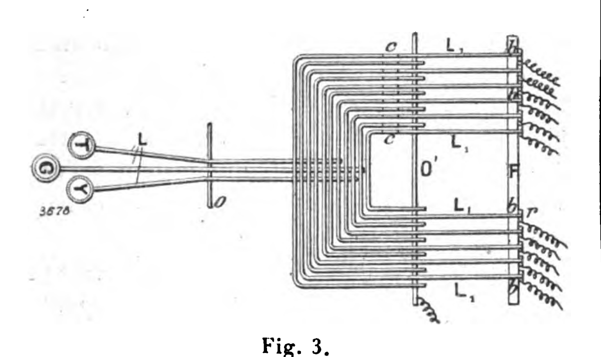


Fig. 3.

métalliques L_1 faisant partie d'un groupe de 11 lames semblables, coudées deux fois à angle droit, portées par un axe commun O' autour duquel elles peuvent pivoter. Les prolongements *b* des lames soulevées viennent se mettre en communication chacun avec un ressort de contact *r* porté par une réglette en substance isolante F fixée à la partie postérieure du manipulateur.

Les 41 leviers horizontaux L présentent à leur extrémité *d* des évidements différemment disposés pour chacun d'eux, de telle sorte que chaque

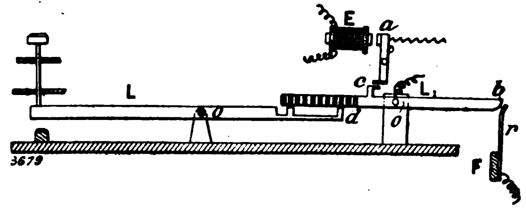


Fig. 4.

levier commande le soulèvement d'un groupe de 2 lames non contiguës, différent pour chacun d'eux.

La figure 3 représente l'ensemble de 11 lames de communication L_1 qui peuvent être soulevées deux à deux.

La mise en contact d'une lame de communication avec son ressort de contact a pour effet, en fermant le circuit d'une pile locale dans un électro-aimant par l'intermédiaire d'un contact de distributeur, d'interrompre pendant un temps très court l'envoi sur la ligne des courants alternatifs produits par le générateur.

La figure 5 montre comment ce résultat peut être obtenu.

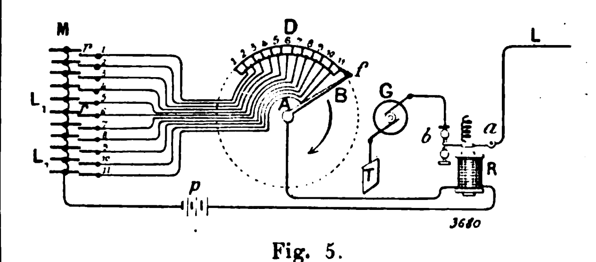


Fig. 5.

En M se trouve le manipulateur représenté par les 11 lames de communication L_1 et les 11 ressorts de contact *r;* chacun de ces 11 ressorts est relié à un des segments métalliques formant le distributeur D, sur ces segments métalliques ou *contacts* presse un frotteur *f* également métallique, porté par un bras B en communicatien électrique avec l'entrée d'un relais R, dont la sortie est reliée à l'un des pôles d'une pile locale *p*. L'autre pôle de la pile *p* communique avec les 11 lames L'.

Il est facile de voir que, de la sorte, si le bras B est animé d'un mouvement de rotation dans le sens de la flèche, le soulèvement d'une lame de communication L_1 déterminera l'attraction de l'armature *a* du relais R pendant le temps du passage du frotteur *f* sur le contact relié au ressort *r* en communication avec la lame soulevée.

Or, l'armature *a* du relais R sert de liaison entre la ligne L et le générateur à courants alternatifs G, dont un des balais est relié au butoir *b* du relais et l'autre à la terre.

D'autre part, l'axe A du distributeur D est commandé, par l'intermédiaire d'un pignon et d'une roue d'engrenage, par l'axe du générateur G, de telle sorte que le passage du frotteur *f* sur les contacts successifs du distributeur corresponde exactement à la production dans le générateur des ondes alternativement positives et négatives. Un léger déplacement de la couronne du distributeur permet d'obtenir cette coïncidence d'une manière parfaite.

On voit ainsi que le soulèvement d'une lame de communication intercepte l'onde positive ou négative produite dans le générateur au moment

où le frotteur du distributeur passe sur le segment relié au ressort en contact avec cette lame.

Il est important, pour produire un effet utile, que le soulèvement des lames de communication correspondant à l'envoi d'un signal déterminé soit effectué avant l'arrivée du frotteur du distributeur au commencement du secteur occupé par les 11 segments en relation avec les 11 ressorts de contact du manipulateur, et il est nécessaire que les lames restent soulevées pendant tout le temps employé par le frotteur pour parcourir ce secteur.

Ce double résultat est obtenu par le dispositif suivant :

Au-dessus des lames de communication se trouve un électro-aimant E (fig. 4) dont l'armature *a* porte une barrette transversale *c*, qui passe au-dessus de toutes les lames. Celles-ci sont munies chacune d'un petit appendice *c* en forme de crochet, qui, lorsque l'armature de l'électro-aimant E est au repos, vient buter contre la barrette *c* et empêche les lames de se soulever. A chaque tour du distributeur, le courant d'une pile locale est envoyé dans l'électro-aimant E, qui, attirant son armature, fait se dérober la barrette *c* et laisse soulever les lames de communication L_1 commandées par les leviers L. Aussitôt que le courant local, d'ailleurs très court, est interrompu, l'armature *a* revenant au repos, la barrette *c* pénètre au-dessous des crochets des lames soulevées et empêche ces lames de redescendre, les maintenant ainsi en contact avec les ressorts *r* pendant un tour complet du bras du distributeur.

Ce système d'accrochage, très simple et très ingénieux, fonctionne parfaitement bien. Il sert également à donner le rythme de la manipulation, non seulement par le léger bruit que fait l'armature *a* lorsqu'elle est attirée par l'électro-aimant E, mais encore parce que l'agent du manipulateur, en appuyant sur les touches, sent, au moment où la barrette *c* se dérobe, celles-ci s'enfoncer davantage, et est ainsi averti qu'il a bien appuyé sur ces touches en temps utile.

Enfin, il est important également, l'impression des caractères ayant lieu, comme nous l'avons dit, suivant des lignes transversales sur une large bande de papier, que l'agent manipulant soit avisé du moment où une ligne est sur le point d'être terminée, afin qu'il puisse commander en temps utile, au moyen de la touche spécialement affectée à cet usage, le retour en arrière du papier pour l'impression d'une nouvelle ligne.

A cet effet, le manipulateur est muni d'une douzième lame de communication (non représentée sur les figures), qui se soulève chaque fois qu'une touche quelconque est abaissée. Dans ce mouvement, cette lame presse contre un ressort de contact et ferme le circuit d'une pile locale dans un électro-aimant dont l'armature agit, au moyen d'un cliquet sur une sorte de compteur qui indique à chaque instant à l'agent manipulant la position de la bande de papier sous la roue des types. Un petit timbre avertisseur, commandé par le compteur, prévient l'opérateur, comme dans les machines à écrire, quand il ne reste plus que quelques caractères à imprimer pour terminer la ligne.

Réception des signaux. — Au poste d'arrivée, la ligne L aboutit à l'entrée des bobines d'un relais polarisé R, dont la sortie est à terre.

Ce relais, d'une construction particulière, possède 2 armatures, s_1 et s_2, indépendantes l'une

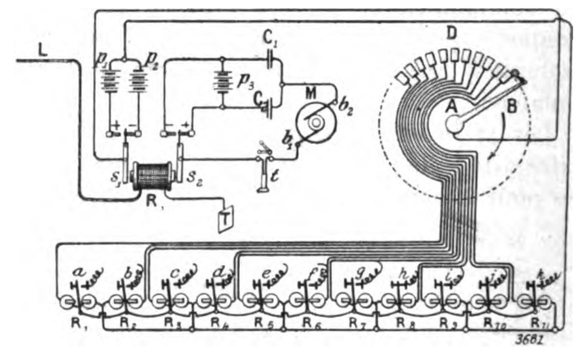


Fig. 6.

de l'autre, mais qui oscillent ensemble lorsque le relais est actionné.

Chacune de ces armatures a une fonction bien distincte : la première sert à la réception des signaux et la seconde au maintien du synchronisme entre les frotteurs des deux distributeurs correspondants. Nous allons indiquer successivement, en nous aidant de la figure 6, le fonctionnement de ces organes.

Les deux buttoirs de l'armature s_1 communiquent : l'un avec le pôle positif d'une pile locale p_1 et l'autre avec le pôle négatif d'une seconde pile locale p_2. L'armature s_1 elle-même est reliée

avec le bras B d'un distributeur de réception D, semblable à celui du poste de transmission, et dont la couronne porte un nombre égal de segments métalliques, mais dont ceux-ci, plus courts, sont un peu séparés les uns des autres par la substance isolante dans laquelle ils sont incrustés.

Ces segments, groupés par séries de 11, — dont une seule, correspondant aux 11 contacts du distributeur de transmission, est représentée sur la figure 6, — sont reliés respectivement à l'entrée des bobines d'autant de relais polarisés, R_1, R_2, R_3 ...... R_{11}, que nous appellerons *relais combinateurs*.

Le circuit des piles locales p_1 ou p_2 se complète ainsi par les segments du distributeur D, sur lesquels passe successivement le frotteur f, tournant en synchronisme avec celui du distributeur D, et par les fils des bobines des relais combinateurs reliés à ces segments, pour faire retour, par un fil commun, aux deux pôles libres des piles locales.

Sous l'influence des courants alternatifs émis par la génératrice G du poste transmetteur, qui, après avoir parcouru la ligne, traversent les bobines du relais R, les armatures s_1 et s_2 oscillent constamment entre leurs butoirs respectifs. Or, le disque D, sur lequel sont fixées les segments métalliques du distributeur, est ajusté sur son axe central, autour duquel il peut recevoir un léger déplacement, de telle sorte que le passage du frotteur f sur *chacun* des contacts successifs du distributeur se produise exactement pendant que *chacune* des ondes successives du courant alternatif se manifeste dans le relais R par la position prise par l'armature s_2 soit contre l'un de ses butoirs, soit contre l'autre.

On voit ainsi que les relais combinateurs R_1 à R_{11} sont alternativement traversés par des courants de sens inverse, c'est-à-dire que les relais impairs R_1, R_3, R_5.... R_{11} étant traversés par un courant positif, par exemple, les relais pairs R_2, R_4, R_6 ..... R_{10} le seront par des courants négatifs.

Pour que ces courants inversés produisent un effet identique sur les armatures de tous ces relais, l'entrée du courant dans le fil des bobines de chacun d'eux a lieu alternativement soit par une extrémité, soit par l'autre, ce qui produit le même effet que si l'enroulement des bobines était réciproquement de sens inverse. Enfin, ces relais sont réglés pour que leurs armatures conservent la position qui leur a été donnée dans le dernier courant qui a traversé les bobines.

Ainsi, lorsque les courants alternatifs parviennent régulièrement au poste de réception, c'est-à-dire *lorsqu'aucun signal n'est transmis* par l'autre poste, les deux armatures du relais de ligne R oscillent incessamment entre leurs butoirs, et les armatures des relais combinateurs sont toutes immobiles contre leur butoir de gauche, nommé *butoir de repos*, qui est isolé.

La transmission d'un signal s'effectue, comme nous l'avons dit, par l'interruption du courant alternatif pendant *deux* demi-périodes *non consécutives*. Au moment où la première de ces interruptions se manifeste dans le relais de ligne R, l'armature s_1 qui, si l'interruption n'avait pas eu lieu, se serait déplacée pour venir au contact du butoir opposé à celui contre lequel elle se trouve à ce moment, reste, au contraire, immobile contre ce dernier butoir, et envoie, par suite, dans le relais combinateur relié au contact du distributeur sur lequel le frotteur f passe à ce même moment, un courant de sens contraire à celui qu'il aurait dû normalement recevoir pour que son armature restât immobile contre son butoir isolé. Cette armature se déplace donc sous l'action de ce courant contraire et vient se mettre en contact avec son butoir de droite, ou *butoir de travail*, établissant ainsi une communication électrique dont nous verrons bientôt l'utilisation.

La seconde interruption du courant périodique produit un résultat identique, et l'armature du relais combinateur relié au contact du distributeur, touché par le frotteur f au moment où cette seconde interruption se manifeste, se trouve projetée contre son butoir de travail.

Les armatures ainsi mises au contact de leur butoir de travail conservent cette position jusqu'au moment où le frotteur f passe de nouveau sur les contacts du distributeur par lesquels elles peuvent être successivement actionnées. Elles sont alors rappelées dans leur position de repos par le courant local qui, normalement, traverse les bobines des relais, ou bien maintenues dans leur position de travail si l'onde qui correspond à chacune d'elles a été de nouveau supprimée.

En résumé, chaque suppression d'une onde, soit positive, soit négative, effectuée au poste de

départ pour la transmission d'un signal, a pour effet, au poste d'arrivée, la mise dans la position de travail de l'armature du relais combinateur correspondant. Chaque signal transmis est donc rendu manifeste, à l'arrivée, par la position de travail occupée, pendant un tour complet du bras du distributeur, par deux armatures non successives des relais combinateurs.

Synchronisme. — Le bras B du distributeur de réception D est entraîné dans son mouvement de rotation par un petit moteur électrique alimenté par un courant continu emprunté à une source d'électricité quelconque. Sur l'axe de ce moteur à courant continu est rigidement fixé un *dispositif synchronisateur*, formé par une série de bobines tournant dans un champ magnétique. Ce dispositif constitue donc un petit moteur synchrone à courants alternatifs, lequel est alimenté par des pulsations alternativement positives et négatives, produites dans un circuit local par le fonctionnement de l'armature s_2.

Aux deux butoirs de cette armature sont reliés respectivement les 2 pôles d'une pile locale p_3, qui sont également en communication chacun avec l'une des faces de deux condensateurs C_1 et C_2. L'armature s_2 communique avec le balai b_1 du moteur à courants alternatifs M, dont l'autre balai b_2 est relié à la fois aux deux autres faces des condensateurs C_1 et C_2.

Par l'examen de la figure 6, qui représente schématiquement cette disposition, il est facile de voir que chaque fois que l'armature s_2 se déplace entre ses butoirs, le condensateur relié au butoir qu'elle vient de quitter se charge tandis que celui relié au butoir contre lequel elle s'appuie, se décharge. Les 2 courants qui résultent de ce double effet sont de même sens, et leur action s'ajoute dans le circuit du moteur M qu'ils traversent.

Le retour de l'armature s_2 dans sa position primitive donne de même naissance à un courant de charge et à un courant de décharge, qui sont tous deux de sens contraire aux premiers.

Ainsi, tous les mouvements de l'armature s_2 déterminent des mouvements électriques, soit dans un sens, soit dans l'autre, dans le circuit du moteur à courants alternatifs M. Comme cette armature vibre continuellement entre ses butoirs sous l'action des courants alternatifs, qui traversent les bobines du relais de ligne R′, il en résulte dans le moteur M une succession de pulsations alternativement positives et négatives qui l'obligent à tourner en concordance de phases avec la génératrice G du poste transmetteur.

Grâce à cette disposition, les suppressions d'ondes résultant de la transmission des signaux ne produisent aucun effet perturbateur sur le fonctionnement du système synchronisateur, puisqu'elles se traduisent simplement par la suppression, dans le circuit du moteur M, des pulsations correspondantes, sans produire de pulsations de sens inverse.

A la vérité, la force développée dans le moteur M par les pulsations qui traversent son circuit est très faible; mais il faut considérer que les bobines de ce moteur sont, de même que le bras B du distributeur D, normalement entraînées, à la vitesse exacte avec laquelle elles doivent tourner, par le moteur auxiliaire à courant continu, sur l'axe duquel elles sont fixées.

Pour obtenir ce résultat, on peut faire varier graduellement, au moyen d'un rhéostat manœuvré à la main, l'intensité du courant continu qui alimente le moteur auxiliaire. On reconnaît que la vitesse convenable est atteinte en se servant d'un téléphone *t*, qui peut être facilement intercalé sur le circuit du moteur à courants alternatifs M.

Quand la vitesse de ce dernier moteur est telle que ses phases correspondent exactement avec celles de la génératrice G du poste transmetteur, reproduites par les vibrations de l'armature s_2, les pulsations qui traversent le téléphone lui font rendre un son continu d'une hauteur uniforme. Lorsque, au contraire, les phases ne correspondent pas, il se produit dans le son une série de *battements* d'autant plus rapprochés que la différence de vitesse est plus grande.

Le moteur à courants alternatifs M n'a donc, normalement, aucun travail à effectuer. Il n'intervient que pour s'opposer à une altération du synchronisme, soit en ajoutant son action à celle du moteur auxiliaire, si celui-ci a une tendance à laisser ralentir le mouvement de rotation du bras du distributeur D qu'il commande, soit, au contraire, en mettant obstacle à une accélération de son mouvement. Son action, réduite ainsi au minimum, est très efficace, et, en fait, le synchronisme entre les bras des 2 distributeurs ne laisse rien à désirer et se maintient constamment d'une façon remarquable.

Traduction des signaux. — La traduction du



signal complexe, formé par la position de travail occupée par 2 des armatures des 11 relais combinateurs, s'effectue au moyen d'un organe que nous nommerons *combinateur*.

Le combinateur, qui a beaucoup d'analogie avec le distributeur, est formé par trois rangées de blocs métalliques incrustés sur le pourtour d'un disque en substance isolante; chacune de ces rangées ou *couronnes* est parcourue par un frotteur constitué par un petit galet métallique porté par un bras tournant avec la même vitesse que le bras du distributeur.

Pour faire comprendre le principe du combinateur et expliquer son fonctionnement, nous ferons usage de la figure 7, qui représente le développement d'un combinateur théorique réduit à 2 couronnes de blocs métalliques C_1 et C_2 et à 2 frotteurs n_1 et n_2, que nous supposerons parcourir d'un mouvement régulier et simultané la surface des rangées de blocs ou *contacts*.

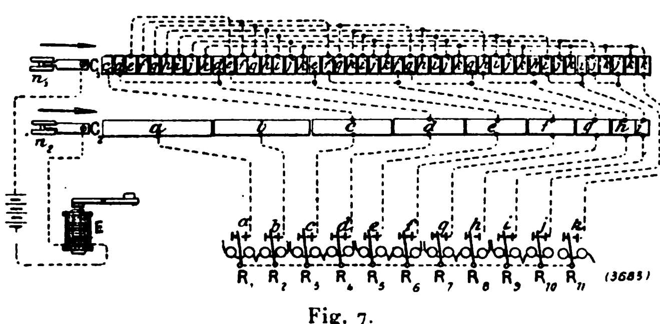


Fig. 7.

Cette figure montre les communications électriques qui relient ces contacts entre eux et avec les butoirs de travail des relais combinateurs. Tous les contacts qui portent la même lettre sont reliés ensemble et au butoir du relais combinateur désigné par cette lettre. Enfin les armatures de relais combinateurs sont toutes reliées les unes aux antres. (Pour simplifier la figure, les contacts contigus de la rangée C_2, reliés les uns aux autres, ont été figurés par un seul bloc.)

En suivant les communications électriques de la figure 7, on peut voir que le circuit local, comprenant la pile p, l'électro-aimant E et les 2 frotteurs n_1 et n_2 du combinateur, peut être fermé chaque fois que 2 armatures non voisines des relais combinateurs sont au contact de leurs butoirs de travail et au moment même où les frotteurs n_1 et n_2 appuient simultanément sur les blocs reliés à ces butoirs.

Ainsi, le circuit sera fermé au moment du passage du frotteur n_1 sur l'un ou l'autre des 9 premiers blocs de la couronne C_1, lorsque la première armature a aura été déplacée en combinaison avec l'une ou l'autre des 9 dernières armatures (de c à k). De même, le circuit sera fermé sur l'un ou l'autre des 8 blocs suivants lorsque la deuxième armature b aura été déplacée en combinaison avec l'une ou l'autre des 8 dernières (de d à k), et ainsi de suite.

Il est donc possible, par le déplacement successif deux à deux des armatures des relais combinateurs, de fermer le circuit local et, par suite, d'obtenir le fonctionnement de l'électro-aimant E au moment du passage des frotteurs sur l'une quelconque des 45 divisions du combinateur.

On comprendra facilement qu'il est alors extrêmement simple d'utiliser le fonctionnement de cet électro-aimant pour produire l'impression du signal — lettre, chiffre ou signe de ponctuation — représenté par la combinaison formée par les deux armatures déplacées. Il suffit, pour cela, de monter sur l'arbre même qui entraîne les 2 frotteurs du combinateur, une *roue des types* qui présente successivement au-dessus d'une bande de papier les différents caractères gravés en relief sur sa périphérie, en même temps que les frotteurs n_1 et n_2 passent sur la combinaison de blocs qui correspond à ces caractères.

L'électro-aimant E sera alors disposé de telle sorte que l'attraction de son armature, au moment où le circuit local est fermé, ait pour effet de projeter le papier contre la roue des types, préalablement encrée, et, par suite, d'imprimer le caractère qui se trouve à ce moment précis audessus de la bande de papier.

Enfin, le mécanisme d'impression sera complété par un dispositif déterminant la progression de la bande de papier chaque fois que l'électro-aimant E aura fonctionné.

Impression des caractères et progression du papier. — Le combinateur théorique dont nous avons expliqué le fonctionnement ne permet l'impression des signaux qu'à la suite les uns des autres, indéfiniment, sur un étroit ruban de papier qui doit ensuite être collé sur une feuille d'un format convenable.

Pour imprimer les signaux directement sur

cette feuille elle-même, suivant des lignes transversales successives, il est nécessaire de pouvoir communiquer au papier des mouvements dans différentes directions, de manière à amener successivement au-dessous de la roue des types les différents points de la feuille où doit se faire l'impression des caractères.

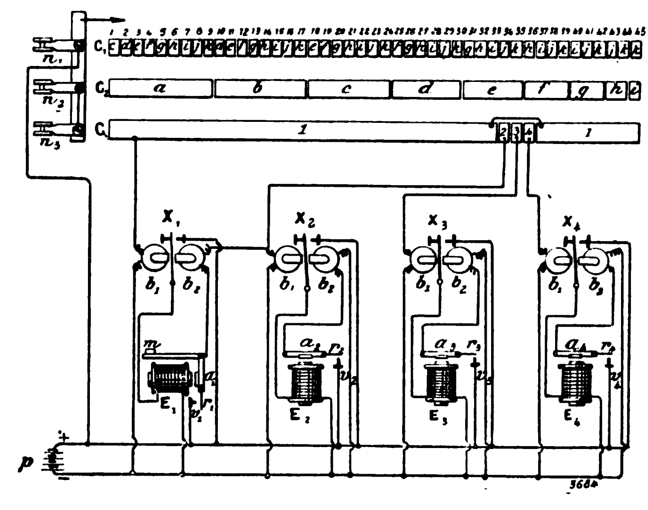


Fig. 8.

Ces différents mouvements que nous avons énumérés précédemment sont commandés chacun par un électro-aimant spécial, et doivent pouvoir s'effectuer — tout au moins les deux derniers — indépendamment du fonctionnement de l'électro-aimant imprimeur.

Pour obtenir à volonté le fonctionnement de l'un quelconque de ces électro-aimants spéciaux le combinateur que nous avons décrit doit être complété comme l'indique la figure 8 :

Une troisième couronne de contact C_3, parcourue par un troisième frotteur métallique n_3, porté par le même bras que n_1 et n_2, est ajoutée aux deux couronnes C_1 et C_2, dont les communications électriques sont les mêmes que celles représentées sur la figure 7 c'est-à-dire que les contacts de ces deux couronnes, marqués des mêmes lettres, sont reliés entre eux et avec celui des butoirs de travail des 11 relais combinateurs que nous avons désigné par cette lettre.

Le rôle de cette troisième couronne est de mettre périodiquement en communication le frotteur n_2 avec l'une des bobines (b_1) de chacun des 4 relais polarisés locaux X_1, X_2, X_3 et X_4 au moment du passage du frotteur n_3, avec lequel il est en communication métallique, sur les contacts de la couronne C_3 auxquels ces bobines sont reliées.

La seconde bobine (b_2) de chacun des relais locaux forme un circuit complètement distinct de celui de la première ; elle a pour fonction, lorsqu'elle est traversée par un courant de sens convenable, de ramener l'armature du relais dans sa position de repos.

Les relais locaux commandent, par le déplacement de leurs armatures et au moyen d'un courant local, les électro-aimants spéciaux dont nous parlons plus haut, et qui sont représentés en E_1, E_2, E_3 et E_4.

Ces 4 électro-aimants ont chacun une fonction mécanique et une fonction électrique.

Voici d'abord leur fonction mécanique, distinct pour chacun d'eux.

Le premier, E_1 (fig. 9), dont l'armature a_1 porte un petit marteau *m* disposé au-dessous du papier dans le plan de la roue des types W, sert à déterminer l'impression des caractères ; c'est l'*électro-aimant imprimeur*.

Le deuxième, E_2, est chargé de faire déplacer progressivement le papier dans le sens transversal de gauche à droite d'une petite quantité après chaque impression, afin de séparer les unes des autres les lettres d'un même mot, ou

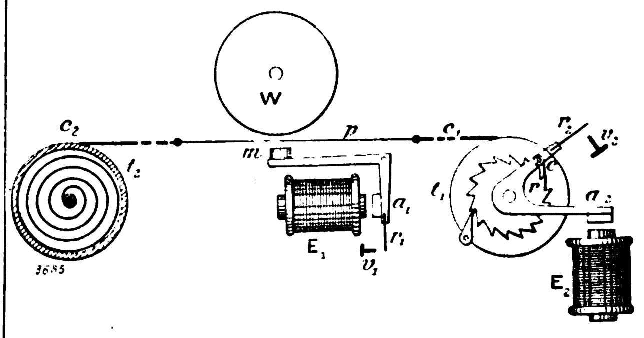


Fig. 9.

encore — quand il est actionné sans qu'il y ait eu impression — de séparer les mots entre eux.

Dans ce but, le support de son armature a_2 est muni d'un cliquet *c* pouvant agir sur un rochet *r* relié par un encliquetage avec un tambour t_1 sur lequel s'enroule une petite chaînette c_1 attachée à une sorte de chariot très léger (non figuré sur le dessin) qui porte le papier *p* ayant la forme d'un large ruban. A l'extrémité opposée du cha-

riot, lequel peut glisser très librement sur une tige qui lui lui sert de guide, est attachée une seconde chaînette c_2 dont l'autre extrémité s'enroule sur un second tambour t_2. semblable au premier, mais renfermant à l'intérieur un ressort de barillet qui se tend au fur et à mesure que la chaînette c_2 se déroule.

Lorsque le papier est arrivé à l'extrémité de sa course transversale, c'est-à-dire lorsque l'impression d'une ligne est terminée l'électro-aimant E_3 intervient : l'attraction de son armature produit le débrayage de l'encliquetage qui relie le rochet r au tambour t_1, et rend libre, par conséquent l'ensemble formé par les deux tambours, les chaînettes et le chariot porte-papier.

Sous l'action du ressort de barillet qui se détend, cet ensemble se meut alors en sens inverse, ramenant le papier de droite à gauche [1] de toute la largeur de la bande.

Il ne reste plus pour pouvoir imprimer une nouvelle ligne, qu'à actionner l'électro-aimant E_4 qui, en agissant au moyen d'un cliquet et d'un rochet sur un cylindre d'entraînement faisant partie du chariot porte-papier, fait avancer longitudinalement la bande de papier de la quantité qui doit séparer deux lignes consécutives.

La fonction électrique, identique pour tous, de chacun des 4 électro-aimants E_1, E_2, E_3 et E_4 (fig. 8) consiste, lorsque leur travail mécanique est terminé, à envoyer dans la seconde bobine b_2 des relais locaux qui les commandent respectivement un courant destiné à ramener dans sa position de repos l'armature du relais et, par suite, à libérer leur propre armature.

Voici comment ces différents organes sont actionnés par l'intermédiaire du combinateur.

La réception d'un signal a pour effet, ainsi que nous l'avons indiqué précédemment, de mettre au contact de leur butoir de travail 2 des armatures des 11 relais combinateurs. Au moment où les frotteurs n_1 et n_2 arrivent simultanément chacun sur l'un des 2 contacts reliés à ces butoirs, le circuit de la pile locale se trouve fermé dans celui des relais locaux en communication avec le contact de la 3e couronne sur lequel le frotteur n_3 appuie à ce moment-là. Supposons, à titre d'exemple, que le signal reçu ait déterminé le déplacement des armatures des relais combinateurs R_3 et R_7 (fig. 7) ; les butoirs de travail de ces 2 relais sont désignés par les lettres c et g, et communiquent avec tous les contacts des couronnes C_1 et C_2, qui portent les mêmes lettres.

L'examen de la figure 8 permet de voir que c'est seulement pendant que les frotteurs n_1 et n_2 passeront sur la 20e division du combinateur que le circuit de la pile p sera fermé à travers la bobine b_1 du relais local X_1.

Le chemin ouvert au passage du courant est le suivant : partant du pôle positif de la pile p, le courant arrive au frotteur n_1, passe par le contact g de la couronne C_1 (20e division du combinateur), par le butoir g du relais combinateur R_7, par l'armature de ce relais, pour arriver à l'armature du relais R_3, toutes les armatures des relais combinateurs étant reliées ensemble ; puis, par le butoir de travail de ce relais, vient au contact c de la couronne C_2, passe par le frotteur n_2, le frotteur n_3, le contact 1 de la couronne C_3, la bobine b_1 du relais X_1, pour faire retour au pôle négatif de la pile p. Le passage de ce courant dans la bobine b_1 oblige l'armature du relais X_1 à se mettre au contact de son butoir de travail, contre lequel elle reste appuyée en vertu de son réglage, envoyant ainsi un courant dans l'électro-aimant imprimeur E_1. L'armature de cet électro-aimant est attirée ; le marteau m qu'elle porte frappe le papier et le presse contre la roue des types, qui précisément présente à ce moment, au-dessus du marteau m, le caractère qui correspond à la combinaison formée par le déplacement des armatures des relais combinateurs R_3 et R_7.

Ce caractère se trouve donc imprimé sur le papier.

En arrivant à l'extrémité de sa course, l'armature a_1 met en contact avec une vis de butée v_1, reliée à la pile locale p, un petit ressort lame r_1 fixé à son extrémité, et envoie un courant en même temps dans la bobine b_2 du relais local X_1 et dans la bobine b_1 du relais X_2. Ce courant ramène l'armature de X_1 dans sa position de repos, rendant libre l'armature de l'électro-aimant E_1, qui a rempli son office, et met au contraire l'armature du relais X_2 dans sa position de travail, ce qui ferme le circuit de la pile p dans

[1] Placé devant la roue des types, on voit les caractères s'imprimer *à l'envers*, c'est-à-dire la tête en bas ; cela explique le sens des déplacements latéraux du papier qui, à première vue, semblent s'effectuer à l'inverse de ce qu'il faudrait.

l'électro-aimant E_2. Le fonctionnement de cet électro-aimant ayant pour effet, comme nous l'avons indiqué plus haut, de faire avancer le papier transversalement de quelques millimètres vers la droite, une partie blanche du papier se présente sous la roue des types. Enfin, la rencontre du ressort de contact r_2, porté par l'armature a_2, et de la vis de butée v_2, reliée à la pile locale p, détermine l'envoi d'un courant dans la bobine b_2 du relais X_2, qui ramène son armature dans la position de repos.

Toutes les opérations relatives à la réception d'un signal sont terminées, et tout est prêt pour l'impression d'un nouveau caractère.

Lorsque, sans qu'il y ait impression d'un caractère, le papier doit simplement se déplacer latéralement pour laisser un intervalle de séparation entre les mots, le circuit local formé par le déplacement de 2 armatures des relais combinateurs doit passer par la bobine b_1 du relais local X_2. Ce sont alors les armatures des relais combinateurs R_5 et R_{10} qui sont au contact des butoirs e et j, et c'est au moment du passage des frotteurs n_1 et n_2 sur la 34e division du combinateur que le courant de la pile p trouve une issue.

On obtient de la même façon les deux autres déplacements du papier par la fermeture du circuit de la pile p dans la première bobine des relais locaux X_3 ou X_4, au moment du passage des frotteurs n_1 et n_2 sur la 35e ou sur la 36e division du combinateur, en mettant dans la position de travail les armatures des relais R_5 et R_{11} ou R_6 et R_8 (1).

Ainsi qu'il est facile de s'en rendre compte d'après les explications précédentes, l'impression des caractères s'effectue *au vol*, pendant la rotation de la roue des types. Or, si court que soit le courant qui traverse l'électro-aimant imprimeur, son action sur l'armature a cependant une certaine durée. Si, pendant que l'armature est attirée, la roue des types continuait à tourner, les contours des caractères s'étaleraient sur le papier, et les signaux, brouillés, seraient presque illisibles. Afin d'éviter ce grave inconvénient, la roue des types n'est pas fixée invariablement sur son arbre ; elle est montée sur un manchon engagé librement sur l'extrémité de cet arbre, auquel il n'est relié que par un ressort à boudin faiblement tendu. Une sorte de *toc*, fixé sur l'arbre, et contre lequel vient buter une vis plantée dans la roue des types, limite le déplacement de celle-ci dans le sens du mouvement et la maintient dans une position déterminée par rapport à son arbre.

Aussitôt que l'armature de l'électro-aimant imprimeur est attirée et que le marteau presse le papier contre la roue des types, celle-ci se trouve immobilisée, tandis que son arbre continue à tourner en tendant le ressort à boudin qui le relie au manchon qui porte la roue des types.

Quand l'attraction de l'armature cesse, la roue des types, se trouvant dégagée, cède à la tension du ressort à boudin, qui l'entraîne dans son mouvement de rotation, et qui, en se détendant, accélère ce mouvement jusqu'à la rencontre de la vis de butée et du *toc*, qui détermine sa position normale par rapport à son arbre.

Cette disposition ingénieuse et très simple, assure la netteté de l'impression, en même temps qu'elle empêche les variations de vitesse qui, lorsque plusieurs récepteurs impriment en même temps, pourraient se produire dans la rotation de l'arbre qui entraîne les frotteurs des combinateurs et les roues des types.

Synchronisme des récepteurs. — Les récepteurs, au nombre de 4, sont commandés par un arbre unique, mis en mouvement par un moteur électrique à courant continu.

Cet arbre est disposé dans le prolongement de l'axe du distributeur de réception ; mais, afin de n'apporter aucun trouble dans la régularité du mouvement de rotation de ce dernier, il en est complètement indépendant au point de vue mécanique. Il est cependant indispensable que les frotteurs des combinateurs et les roues des types effectuent, dans un temps donné, le même nombre de révolutions que les bras des distributeurs.

Ce résultat est obtenu par les dispositions suivantes, que représentent les figures 10 et 11,

(1) L'ordre des combinaisons indiqué sur les figures 7 et 8 n'est pas celui qui existe effectivement, et dont nous n'avons pu, malgré beaucoup d'insistance, obtenir communication. Mais cet ordre importe peu ; on comprendra facilement qu'il est toujours possible de disposer les combinaisons dans un ordre quelconque, à condition de placer dans le même ordre, sur la périphérie de la roue des types, les lettres, chiffres, etc., qu'elles représentent.

sur lesquelles les mêmes lettres désignent les mêmes organes :

Dans le circuit du moteur électrique M, qui entraîne l'arbre des récepteurs A_1, sont intercalés 2 rhéostats, Rh_1 et Rh_2, dont les résistances sont réglées de telle sorte que la vitesse de l'arbre A_1

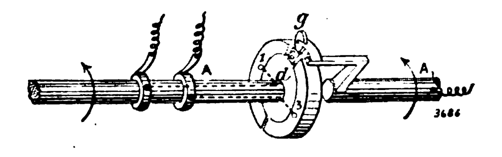


Fig 10.

soit sensiblement égale à celle de l'axe A du distributeur de réception. Ce dernier se termine par un petit disque *d*, en substance isolante, qui porte 3 segments métalliques, *1*, *2* et *3*, sur lesquels peut appuyer un petit galet *g*, également métallique, porté par l'arbre A_1.

Normalement, le galet *g* appuie sur le contact isolé *2*, et y reste tant que la vitesse de rotation des axes A et A_1 est égale.

Si la vitesse de A_1 vient à diminuer par exemple, le galet *g*, se trouvant en retard par

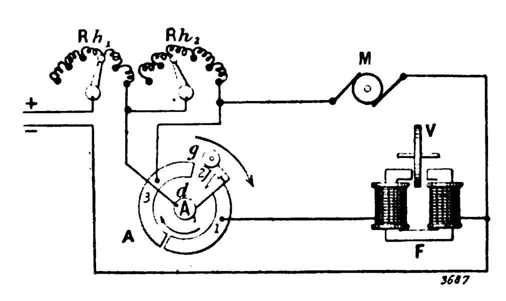


Fig. 11.

rapport au disque *d*, viendra toucher le contact 3. Dans cette position, le rhéostat Rh_2 est mis hors circuit, et la vitesse du moteur M et, par conséquent, celle de l'arbre A_1 augmente. Si, au contraire, la vitesse de A_1 vient à être plus grande que celle de A, le galet *g* venant au contact du segment *1*, une partie du courant qui alimente le moteur M est dérivée dans l'électro-aimant F, entre les deux pôles duquel tourne, avec une grande rapidité, un disque de cuivre rouge V, entraîné par le moteur M, auquel il est relié par un engrenage. Tant qu'aucun courant ne traverse l'électro-aimant F, le disque V, remplissant le rôle de volant, tourne comme si cet électro-aimant n'existait pas. Mais dès que l'électro-aimant F est excité, il se produit dans le disque V des courants d'induction qui tendent à s'opposer à son mouvement de rotation. C'est comme si ce disque tournait dans un milieu visqueux.

Ce dispositif constitue donc un *frein électrique* qui ralentit la vitesse de l'arbre A_1.

Ainsi, par suite de ces dispositions, le galet *g* est forcé de se maintenir constamment sur le petit segment isolé *2*, puisqu'il y est ramené automatiquement dès qu'il tend à s'en écarter.

Division des couronnes des distributeurs. — Chaque manipulateur correspond à un groupe de 11 contacts du distributeur, ce qui fait 46 contacts effectivement utilisés pour les 4 manipulateurs.

Mais, pour la raison que nous avons indiquée plus haut, il n'est pas possible de rendre perceptible l'arrivée, dans le relais récepteur, la suppression de 2 ondes successives, soit une période complète du courant alternatif. Il est donc indispensable de laisser un intervalle de séparation entre chaque série de 11 contacts pour le cas où le dernier contact d'un secteur et le premier du secteur suivant — en donnant le nom de *secteur* à l'ensemble des 11 contacts reliés à un même manipulateur — devraient servir simultanément, chacun dans son groupe, à la transmission d'un signal.

Cela porte à 12 le nombre des contacts réellement nécessaires pour chaque transmission, soit 48 pour les 4 transmissions.

Mais ce n'est pas tout. Pour pouvoir communiquer, il n'est pas suffisant que les bras des 2 distributeurs correspondants tournent en synchronisme ; il faut encore qu'ils soient *orientés* l'un par rapport à l'autre, c'est-à-dire que, pendant que celui de transmission passe successivement sur les contacts 1, 2, 3, 4... reliés au premier manipulateur, par exemple, celui de réception passe de même — avec un retard équivalent à la durée de la propagation des courants — sur les contacts 1, 2, 3, 4... correspondant au premier récepteur.

Il est facile de comprendre que ce n'est que très exceptionnellement que cette concordance se trouvera réalisée d'elle-même, au moment de la mise en marche des distributeurs, à chaque extrémité de la ligne. Or, comme le synchronisme entre les 2 distributeurs s'établit et se maintient par le seul fait du fonctionnement du

relais récepteur sous l'influence des courants alternatifs transmis continuellement sur la ligne, il s'ensuit qu'une fois ce synchronisme établi, la *désorientation* (ou décalage de l'un par rapport à l'autre) des bras des 2 distributeurs subsisterait indéfiniment s'il n'y avait pas un moyen qui permette d'établir la concordance indispensable au fonctionnement du système.

Ce moyen consiste dans la mise en action du dispositif suivant :

Le bras du distributeur de réception n'est pas lié à son axe, lequel, ainsi que nous l'avons dit, est commandé par le moteur synchronisateur; il y est simplement monté à frottement doux, en face d'un large disque en métal qui s'y trouve fixé et qui, par conséquent, tourne avec cet axe. Ce disque présente sur son pourtour un certain nombre d'échancrures ou *encoches* équidistantes, l'écartement de 2 encoches consécutives étant égal à 2 divisions de la couronne du distributeur [1].

La liaison entre le bras du distributeur et le disque à encoches est obtenue par une languette mobile, en forme de cliquet, qui constitue le prolongement de l'armature d'un électro-aimant porté par le bras du distributeur et tournant avec lui. Quand l'armature est au repos, maintenue par son ressort antagoniste, la languette pénètre dans une des échancrures du disque à encoches et solidarise ainsi le bras du distributeur avec ce disque qui l'entraîne dans son mouvement de rotation.

Quand, au contraire, l'électro-aimant est actionné par un courant, son armature étant attirée, la languette se dégage de l'encoche dans laquelle elle se trouvait, et le disque continue à tourner sans entraîner le bras du distributeur; lorsque après une brève attraction, l'armature revient au repos, la languette retombe sur la partie du disque qui sépare 2 échancrures ; elle glisse sur cette partie pleine jusqu'à ce qu'une échancrure nouvelle, dans laquelle elle pénètre, se présente au-dessous d'elle. Le bras du distributeur se trouve ainsi déplacé de 2 divisions par rapport au disque à encoches, lequel a continué de tourner en synchronisme avec le bras du distributeur de transmission.

[1] Il convient de remarquer que, par suite de l'emploi des courants alternatifs, le décalage du bras d'un distributeur par rapport à l'autre, quand ils tournent en synchronisme, est toujours d'un nombre pair de divisions.

Cet électro-aimant mobile est commandé par un relais spécial, que nous appellerons *relais d'orientation*, analogue aux relais combinateurs et actionné, comme ceux-ci, par l'armature s_1 du relais récepteur (voir fig. 6) à travers un des contacts du distributeur D, auquel il est relié.

Mais, à l'inverse de ce qui se passe pour les relais combinateurs, le relais d'orientation *n'est pas actionné* — c'est-à-dire que son armature est maintenue dans la position de repos — lorsqu'une suppression d'onde se manifeste dans le relais récepteur au moment où le frotteur du distributeur passe sur le contact relié à l'entrée de ses bobines, et c'est, au contraire, quand le courant périodique n'est pas altéré à ce moment-là que son armature prend la position de travail et envoie un courant local dans l'électro-aimant porté par le bras du distributeur de réception. En un mot, le butoir de travail et le butoir de repos du relais d'orientation sont inversés par rapport à ceux des relais combinateurs.

Le fonctionnement de ce dispositif est obtenu de la manière suivante :

A chaque tour du distributeur de transmission, une onde du courant alternatif est automatiquement supprimée, au départ, par le passage du frotteur du distributeur sur un contact déterminé, à ce affecté.

Si, au moment où cette suppression se manifeste à l'arrivée, le frotteur du distributeur de réception passe précisément sur le contact relié au relais d'orientation, c'est que les bras des 2 distributeurs sont en concordance ; l'armature du relais d'orientation reste au repos et l'électro-aimant porté par le bras du distributeur n'est pas actionné.

Mais si, au contraire, ce frotteur ne se trouve pas sur le contact relié au relais d'orientation au moment où la suppression d'onde se manifeste, ou, ce qui revient au même, si, au moment où le frotteur passe sur le contact relié au relais d'orientation, le relais récepteur accuse le passage d'une onde du courant alternatif, l'armature du premier, se mettant en communication avec son butoir de travail, envoie un courant dans l'électro-aimant porté par le bras du distributeur.

Le fonctionnement de cet électro-aimant a pour effet, comme nous l'avons indiqué, de retarder le bras du distributeur de réception de

deux divisions par rapport à la position qu'il occupait antérieurement en face du disque à encoches.

Au tour suivant, si la concordance entre les deux bras n'existe pas encore, le même effet se reproduira, et celui de réception se trouvera de nouveau retardé de deux divisions, et ainsi de suite, à chaque tour, jusqu'à ce que le frotteur porté par ce bras se trouve précisément sur le contact du distributeur relié au relais d'orientation au moment où la suppression de l'onde retranchée au départ se manifeste dans le relais récepteur.

A partir de ce moment, les bras des distributeurs tournant en synchronisme et étant convenablement orientés l'un par rapport à l'autre, les deux postes pourront communiquer.

Enfin, pour indiquer quand la concordance entre les bras des deux distributeurs est établie, une seconde onde est supprimée automatiquement, au départ, à chaque tour du distributeur. A l'arrivée, cette suppression agit, de même que la première, sur un relais spécial qui actionne un avertisseur constitué par une petite sonnerie dont le tintement indique qu'on peut commencer le travail.

Un commutateur disposé dans le circuit de cette sonnerie permet d'interrompre son fonctionnement quand celui-ci n'est plus nécessaire.

Les deux contacts spéciaux du distributeur de transmission par lesquels s'effectuent automatiquement, à chaque tour, ces suppressions d'ondes, doivent, de même que les différents secteurs être séparés l'un de l'autre ainsi que des secteurs voisins, par un intervalle de séparation égal à une demi-période du courant alternatif, soit un contact, ce qui porte à 52 le nombre des divisions des distributeurs.

La fréquence du courant alternatif produit par la génératrice de transmission est donc, à raison de 26 périodes par tour du distributeur et pour une vitesse de rotation de 210 tours par minute, de 91 périodes complètes par seconde.

Rendement. — Le rendement du télégraphe Rowland dépend naturellement de la vitesse de rotation des bras des distributeurs.

Cette vitesse est ordinairement de 200 à 210 tours par minute.

Chaque manipulateur peut transmettre une lettre par tour de distributeur et quelquefois deux. Pour ce dernier cas, deux conditions doivent être réalisées : il faut d'abord que les combinaisons représentant les deux lettres aient un élément commun, c'est-à-dire que les *deux* touches du manipulateur abaissées simultanément déterminent le soulèvement de *trois* lames de communication, *non voisines*; en second lieu, les deux caractères à imprimer doivent être assez distants l'un de l'autre, sur la roue des types, pour que toutes les opérations relatives à l'impression du premier soient terminées avant que le second se présente à son tour au-dessus du papier.

Cette double condition se rencontre assez rarement, et, en fait, il n'y a que 6 groupes de deux signaux — dont 4 comportent la commande de mouvements du papier — qui puissent être transmis dans un seul tour du distributeur.

En tenant compte de cet avantage, et à vitesse de 210 tours par minute, le rendement théorique peut atteindre 2 300 mots par heure et par clavier.

Mais dans la pratique, bien que la facilité de la manipulation, plus grande à l'appareil Rowland qu'à tout autre appareil du même genre, permette aux opérateurs d'approcher facilement du maximum de rendement, ce dernier diminue dans une notable proportion par suite du temps employé à commander les déplacements du papier.

Le mode d'impression des télégrammes sur une feuille de papier est certainement très séduisant; mais il a plus d'inconvénients que d'avantages. Nous n'avons pas l'intention d'avoir ici un parallèle entre ces avantages et ces inconvénients, qui sont surtout du ressort de l'exploitation; nous n'envisagerons donc ce système d'impression qu'en ce qui concerne le rendement de l'appareil.

La bande de papier, d'une largeur de 15 cm environ, sur laquelle s'effectue l'impression, est perforée transversalement de distance en distance, de manière à faciliter le détachement des télégrammes au fur et à mesure de leur réception.

Or, la feuille de papier ainsi formée par le sectionnement de la bande suivant les lignes perforées, peut contenir de 28 à 30 lignes d'impression. Si l'on considère que le plus grand nombre des télégrammes n'ayant pas plus de 20 mots, y compris le préambule, n'occupe-

raient pas plus de 3 lignes d'impression, puisque chaque ligne peut contenir environ 40 caractères, on se rendra facilement compte de la perte de temps qu'entraîne l'avancement progressif de la bande de papier pour que chaque télégramme soit imprimé sur une feuille distincte.

Il est vrai que le déplacement longitudinal, ligne par ligne, de la bande s'opérant *automatiquement*, — à l'aide d'un dispositif que nous n'avons pas indiqué dans notre description, — jusqu'à ce qu'un courant électrique étant émis à travers les perforations du papier le fasse cesser au moment convenable, ce déplacement n'exige pas de l'agent manipulant la répétition, à chaque tour du distributeur, du signal spécial qui le détermine; mais la perte de temps n'en est que plus considérable encore, car cet agent, devant attendre la fin de cette progression automatique du papier sans que rien lui indique, quand elle est terminée, laissera certainement passer, sans transmettre, plus de tours qu'il ne serait strictement nécessaire.

Le rendement de chaque manipulateur se trouve, de ce fait, réduit de plus de 1/5, et ne dépasse pas 1 800 mots à l'heure, ce qui donne pour les 4 manipulateurs travaillant simultanément 7 200 mots.

Le rendement total de l'appareil fonctionnant en duplex est donc de 14 400 mots par heure.

L'obligation de faire usage d'un système duplex pour permettre la transmission simultanément dans les deux sens, bien qu'elle ait l'avantage d'augmenter le rendement du conducteur utilisé, n'en est pas moins un gros inconvénient du télégraphe Rowland.

Il faut bien reconnaître, en effet, que toutes les tentatives faites à diverses reprises pour acclimater en France, ainsi que dans les autres pays européens, les systèmes duplex et quadruplex, si fort en honneur aux Etats-Unis, où ils paraissent réussir à merveille, ont jusqu'ici sinon totalement échoué, du moins donné de tels mécomptes, surtout sur les lignes longues, — les seules d'ailleurs sur lesquelles il est avantageux, afin d'éviter d'avoir à en poser de nouvelles, de faire usage de méthodes qui en augmentent le rendement, — qu'on a dû peu à peu les abandonner presque complètement.

La manière différente dont se comportent ces systèmes, suivant qu'ils sont exploités d'un côté ou de l'autre de l'Atlantique, nous semble provenir principalement de ce fait que, de ce côté-ci, la plupart des lignes télégraphiques ayant, pour la traversée des villes et des tunnels, de nombreux parcours souterrains dans lesquels elles sont constituées par des câbles recouverts de gutta-percha, on ne peut pas, dans l'intérêt de la conservation de ces câbles, faire usage, pour les transmissions, des courants à voltage élevé habituellement employés en Amérique.

Outre que ces parties souterraines, ayant ordinairement une grande capacité, augmentent considérablement les difficultés de l'établissement de l'équilibre entre la ligne réelle et la ligne artificielle, la faiblesse des courants reçus nécessite une plus grande sensibilité des organes récepteurs et plus de précision dans les réglages, ce qui rend ceux-ci plus instables et, par suite, plus fréquents.

En un mot, alors que la télégraphie est restée en Europe un art délicat et tout de précision, elle s'est, pour ainsi dire, *industrialisée* de l'autre côté de l'Atlantique.

C'est peut-être là un progrès; mais ses avantages n'en sont pas encore bien évidents.

Quoi qu'il en soit, il est certain que, d'une manière générale, l'emploi des courants alternatifs est éminemment favorable à la transmission des signaux télégraphiques, et que, notamment en ce qui concerne l'utilisation de méthodes de transmission duplex, ces courants facilitent beaucoup leur fonctionnement. La résistance électrique de la ligne n'a, en effet, dans ce cas, gue peu d'action sur le réglage de l'équilibre; ses variations passent donc inaperçues.

Il n'en est pas de même, il est vrai, de la capacité électrostatique, qui doit, au contraire, être équilibrée avec la plus grande précision. Mais une fois cet équilibre obtenu, il reste stable, les influences atmosphériques ayant moins d'action sur la capacité que sur la résistance de la ligne.

M. Robichon termine son étude en signalant quelques-unes des analogies qui existent entre l'appareil Rowland et l'appareil Baudot tel qu'il avait été primitivement réalisé par son inventeur. (*Journal télégraphique*, 25 mars 1877, t. III, p. 521.)

Le Gérant : C. NAUD.



Tome XXVIII. Samedi 7 Septembre 1901. 8e Année. — N° 36

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

EXPOSITION UNIVERSELLE

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 132 KILOWATTS DE MM. SAUTTER ET HARLÉ.

MM. Sautter et Harlé, qui se sont fait une spécialité des applications de l'électricité à la marine, avaient exposé un certain nombre de groupes à courant continu destinés à l'éclairage des navires.

Ces groupes au nombre de 5, ont une forme très compacte; la photographie de la figure 1 représente le plus puissant, celui de 132 kilowatts. C'est celui-ci que nous décrirons plus spécialement.

Les figures 4 et 5 montrent des vues d'ensemble de ce groupe.

Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur de MM. Sautter et Harlé est du type vertical, compound, avec deux cylindres jumelés.

Les dimensions des pistons et de la course sont les suivantes :

Diamètre du cylindre à haute pression	40 cm
Diamètre du cylindre à basse pression	57 »
Course commune des pistons	33 »

La vitesse normale est de 275 tours par minute et la pression de la vapeur d'admission de 10 kg : cm². La puissance normale est de 220 chevaux indiqués; en cas d'à-coup la puissance du moteur peut être portée à 300 chevaux.

La distribution de la vapeur se fait par tiroirs cylindriques commandés par des excentriques à calage invariable calés sur l'arbre principal.

**

Fig. 1. — Groupe électrogène de 132 kilowatts, de MM. Sautter et Harlé.

L'admission dans le petit cylindre est contrôlée par un régulateur agissant directement sur une valve placée dans la conduite d'amenée de vapeur.

Ce moteur, dont les cylindres sont supportés par quatre colonnes, repose sur un bâti boulonné avec celui de la dynamo.

Le graissage est du type sous pression.

Outre l'induit de la dynamo, le moteur possède un petit volant spécial. Ce volant a un diamètre de 1,2 m et une largeur de 12 cm.

Sur ce volant est fixée une poulie de plus petit diamètre.

Une galerie située sur le devant de la machine permet de surveiller en marche le fonctionnement et le graissage des organes.

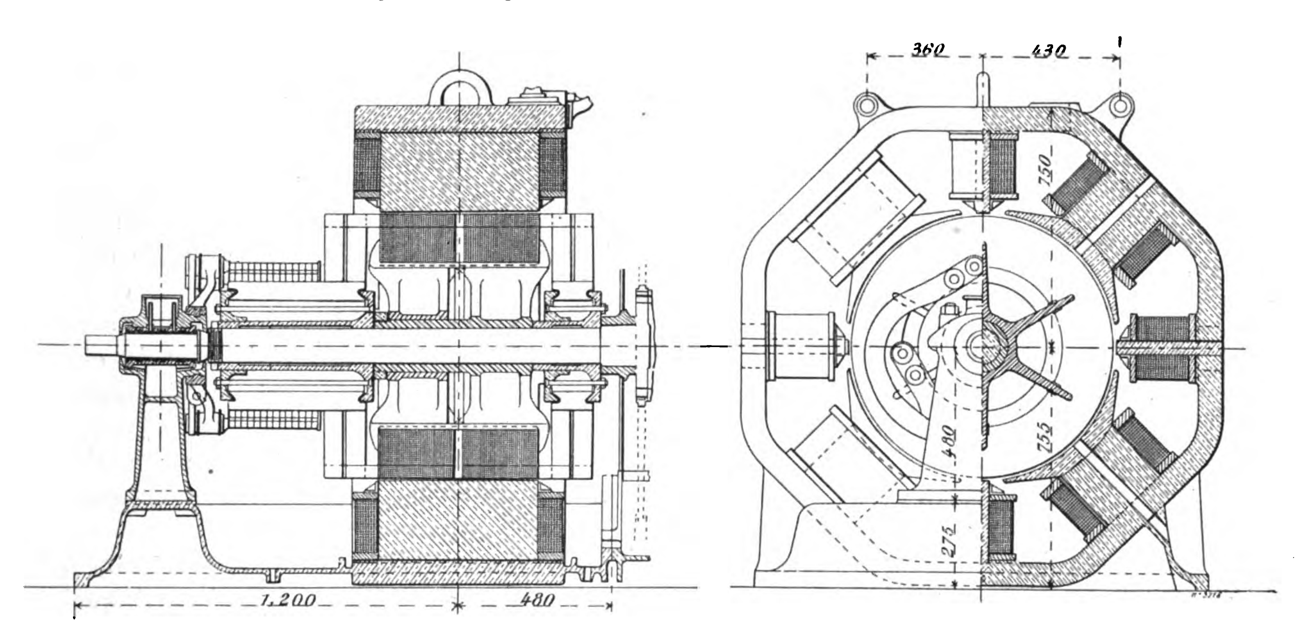


Fig. 2 et 3. — Vues d'ensemble avec coupe partielle de la dynamo de 132 kilowatts, de MM. Sautter et Harlé.

Dynamo. — La dynamo de MM. Sautter et Harlé du groupe type marine a une puissance de 132 kilowatts. La tension aux bornes est de 120 volts et le débit de 1 100 ampères. Ce débit peut être porté pendant quelques instants à 1 500 ampères sans étincelles ni chute de tension exagérée.

La vitesse de la dynamo est de 275 tours par minute et le nombre de pôles de 4.

La principale particularité de cette dynamo, étudiée spécialement pour pouvoir supporter de grandes variations de charge sans décalage des balais et sans variations sensible de tension, est l'emploi de petits pôles supplémentaires pour faciliter la commutation.

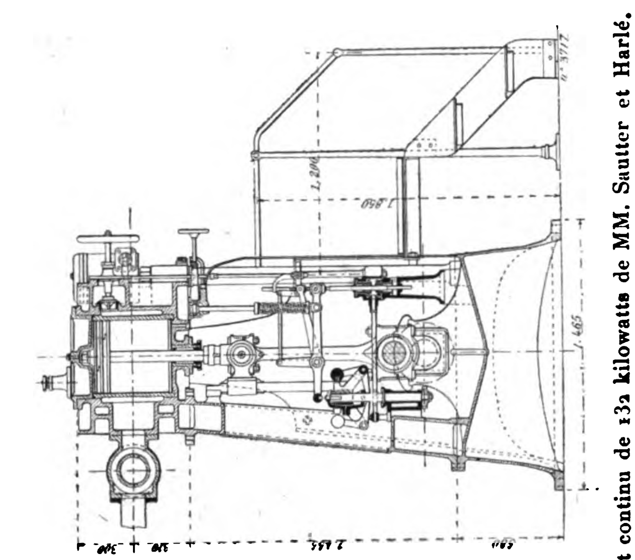
La dynamo de 132 kilowatts de MM. Sautter et Harlé est représentée sur les figures 2 et 3 qui sont des coupes par l'axe et perpendiculaire à l'axe avec vue partielle.

Inducteurs. — La carcasse inductrice, de forme octogonale, en acier coulé, est en deux parties dont l'une, la partie inférieure, est venue de fonte avec le bâti sur lequel est rapporté le palier unique, en fonte, avec graissage à bagues.

Les noyaux polaires proprement dits ont une section rectangulaire et sont venus de fonte avec la carcasse. Les épanouissements polaires et les noyaux des petits pôles supplémentaires sont également en acier coulé, mais rapportés et fixés à l'aide de vis.



Les noyaux polaires principaux et leurs épanouissements polaires présentent des fentes radiales destinées à amoindrir la réaction d'induit.



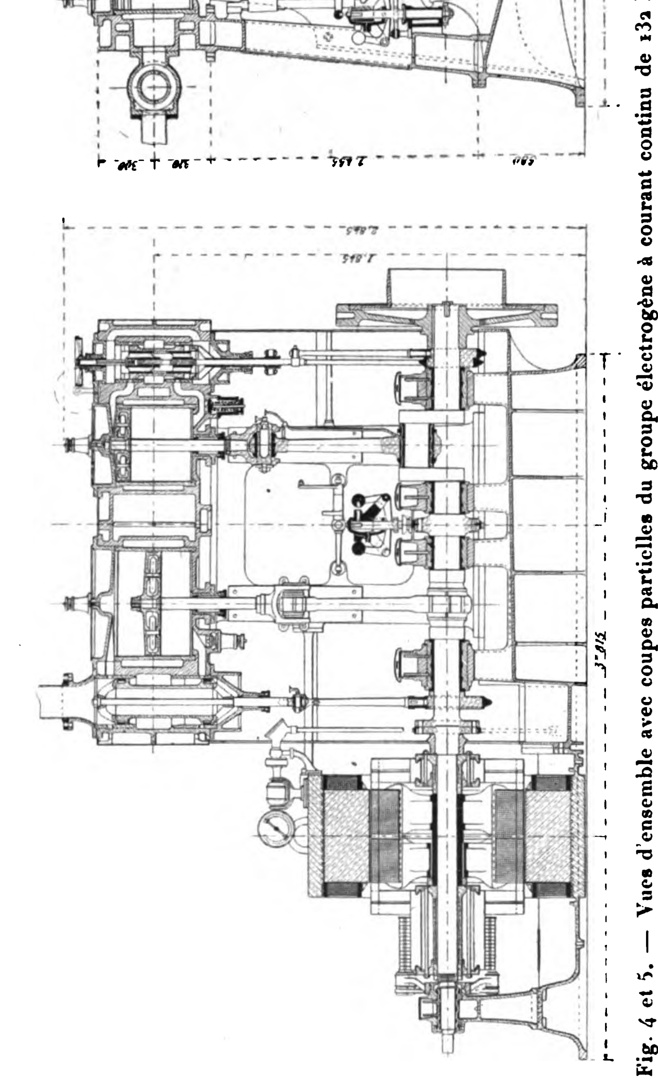


Fig. 4 et 5. — Vues d'ensemble avec coupes partielles du groupe électrogène à courant continu de 132 kilowatts de MM. Sautter et Harlé.

La hauteur de la carcasse est de 1,50 m, et le diamètre d'alésage des inducteurs de 83,5 cm. L'entrefer est de 7,5 mm.

La largeur des pièces polaires parallèlement à l'axe est de 50 cm et leur développement le long de la périphérie de l'induit de 52 cm environ y compris les fentes radiales d'une largeur de 3 cm environ.

La dynamo est enroulée en compound. Chacun des quatre pôles principaux reçoit une bobine enroulée sur une carcasse en carton et comportant 1 400 spires de fil de 2,3 mm de diamètre et 2 spires de ruban de cuivre de 880 mm^2 de section.

Les quatre bobines inductrices sont réunies en série et la résistance du circuit inducteur shunt est de 36 ohms à chaud.

Les petits pôles portent un enroulement série avec les spires de compoundage.

Induit. — L'induit est supporté par un croisillon en bronze sur les bras duquel les tôles induites sont empilées.

Ce croisillon est en deux parties dont l'une est serrée sur l'autre par un écrou vissé sur le moyeu de cette dernière partie.

Les tôles induites sont partagées en deux noyaux séparés par un intervalle de 3 cm ménagé pour assurer une bonne ventilation de l'induit.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 82 cm et sa largeur totale de 50 cm.

La surface de l'induit est munie de 114 rainures dans lesquelles est réparti l'enroulement induit en tambour multipolaire avec groupement en série.

Chaque rainure porte une barre de 36 mm de largeur et 8,4 mm d'épaisseur et les 114 barres sont connectées entre elles et aux lames du collecteur par des développantes de cercle de façon à former 57 sections d'une seule spire chacune.

Les extrémités des développantes du côté opposé au collecteur sont soudées aux lames d'un faux collecteur claveté sur l'arbre. Ce collecteur est formé d'un manchon en acier avec rebord et d'un anneau serrant les lames à l'aide de boulons.

Le collecteur proprement dit a une constitution analogue à celle du faux collecteur, il est serré sur l'arbre contre le support d'induit par un écrou. Son diamètre est de 40 cm et sa largeur utile de 30 cm.

Les axes des porte-balais sont fixés sur un support pouvant tourner autour d'un anneau venu de fonte avec le palier.

Les 4 lignes de balais sont munies chacune de 13 balais en charbon.

La résistance de l'induit entre balais est de 0,0025 ohm.

Résultats d'essais. — L'intensité du courant d'excitation pour la marche à vide à 120 volts est de 3,3 ampères.

En charge normale le rendement industriel mesuré a été trouvé de 92 p. 100.

J. Reyval.

LE CHEMIN DE FER DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900

A l'Exposition Universelle de 1889, le transport des visiteurs était assuré, entre l'Esplanade des Invalides et le Champ-de-Mars, au moyen d'un chemin de fer, à voie étroite, du système Decauville.

A l'Exposition Universelle de 1900, ce même transport fut assuré à la fois par un chemin de fer, à voie de 1 m, et par une plate-forme mobile. Le but de cet article est la description générale des dispositions que présentait l'installation du chemin de fer. Ce chemin de fer, d'un type déjà connu, n'avait de spécial que l'extrême variété des différentes parties de son parcours, variété qu'imposaient les nombreuses et très diverses sujétions auxquelles les dispositions générales de la ligne devaient satisfaire. Les principales de ces sujétions étaient les suivantes :

1° Stations au niveau du sol.

2° Passage au-dessus de la voie publique, dans les parties en dehors de l'enceinte de l'Exposition.

3° Maintien de la circulation générale avec le pont de l'Alma, au carrefour des avenues Rapp et Bosquet.

4° Permettre l'accès dans l'Exposition de plain-pied à la porte Rapp.

5° Éviter le plus possible les arbres déjà existant.

I. Dispositions générales. — 1. *Tracé* (fig. 1) *et profil en long* (fig. 2). — Situé tout entier sur la rive gauche de la Seine, le tracé du chemin de fer était formé par le périmètre d'un quadrilatère irrégulier ayant pour côtés :

1° La rue Fabert, le long de l'Esplanade des Invalides ;

2° L'avenue de la Motte-Picquet, entre la rue Fabert et l'avenue de La Bourdonnais ;

3° L'avenue de La Bourdonnais, le long du Champ-de-Mars ;

4° Le quai d'Orsay, entre l'avenue de La Bourdonnais et la rue Fabert.

Ce tracé avait une longueur approximative de 3,300 km.

Le long de la rue Fabert le chemin de fer était établi en partie au niveau du sol et en



partie en viaduc ; il franchissait le carrefour de la rue Fabert et de l'avenue de La Motte-Picquet, par une courbe et une contre-courbe de 60 m de rayons et séparées par un alignement de 15,50 m, au moyen d'un viaduc qui se continuait tout le long de l'avenue de La Motte-Picquet pour se terminer avenue de La Bourdonnais, à hauteur de la galerie de l'Agriculture et de l'Alimentation, après avoir franchi le carrefour des avenues de La

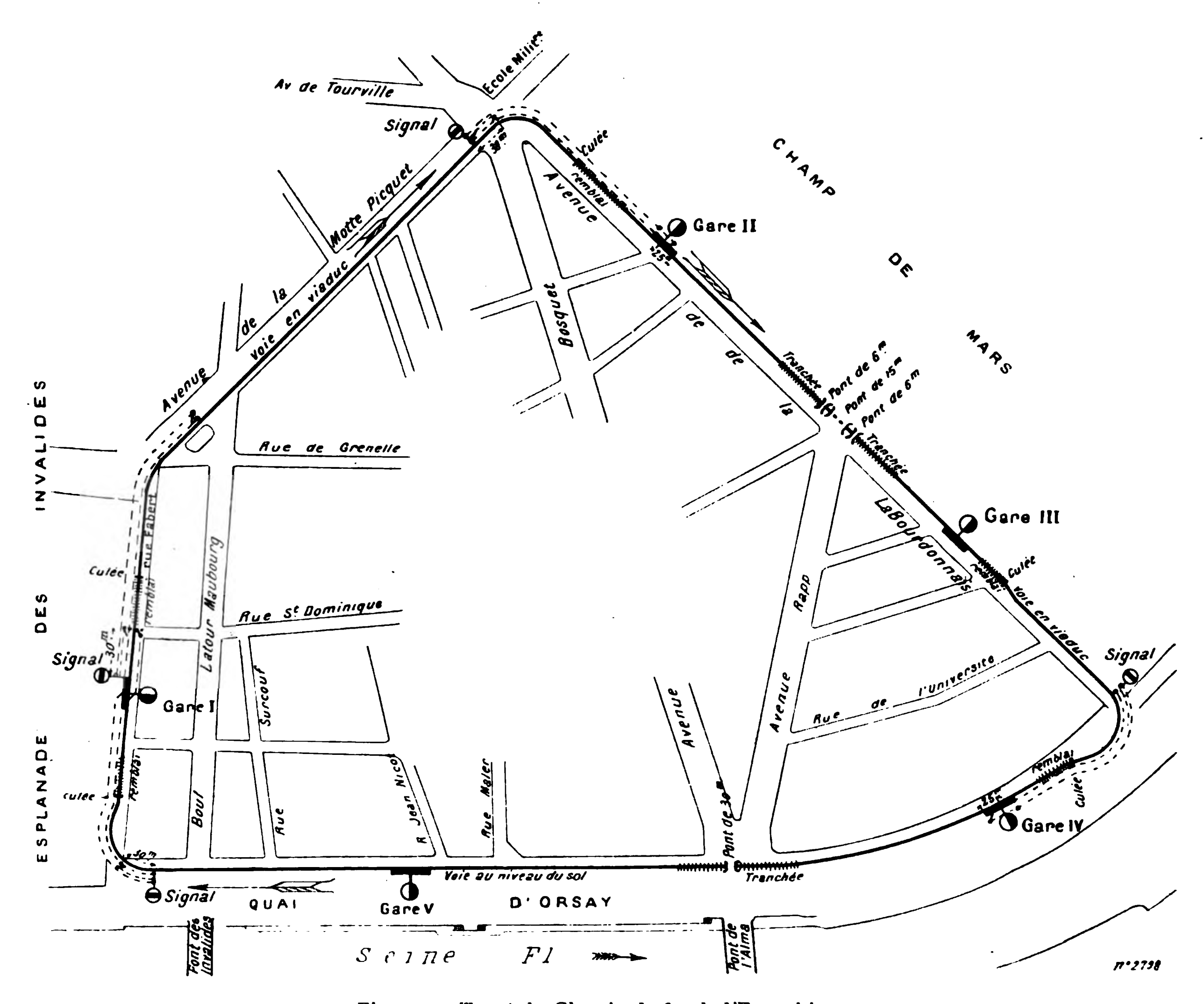


Fig. 1. — Tracé du Chemin de fer de l'Exposition.

Motte-Picquet et de La Bourdonnais, par une courbe de 50 m de rayon ; à chacune de ses extrémités ce viaduc présentait une déclivité de 0,40.

En quittant le viaduc, la voie arrivait au niveau du sol, et elle y restait jusqu'au commencement de la tranchée qui s'étendait de part et d'autre de l'axe de la porte Rapp (on communiquait avec cette porte par des ponts qui franchissaient la tranchée) ; dans cette tranchée le profil était constitué par une pente de 0,040, un palier de 20 m de longueur, et une rampe de 0,040 ; au sortir de la tranchée, la voie regagnait le niveau du sol de l'Exposition. Puis cette voie sortait du Champ-de-Mars, par une courbe et une contre-courbe de 40 m de rayons, séparés par un alignement de 15,30 m et respectivement en rampes de 0,034 et de 0,015,

au moyen d'un viaduc qui était établi sur l'avenue de La Bourdonnais et qui gagnait le quai d'Orsay par deux courbes ayant successivement des rayons respectifs de 46 m et de 40 m, un alignement de 15 m et une contre-courbe de 40 m de rayon. La voie arrivait ensuite au niveau du sol, par une pente de 0,040, pour y rester jusqu'à la tranchée qui passait sous la chaussée du carrefour des avenues Rapp et Bosquet, et y revenir au sortir de cette tranchée (au-dessus de la tranchée, la chaussée était supportée par un tablier métallique avec voûtins en briques) ; dans la tranchée la voie était successivement en pente de 0,040, en palier sur 20,75 m, en rampe de 0,040. Enfin la voie gagnait, par une rampe de 0,040, un viaduc qui continuait cette rampe pour franchir le boulevard de La Tour-Mau-

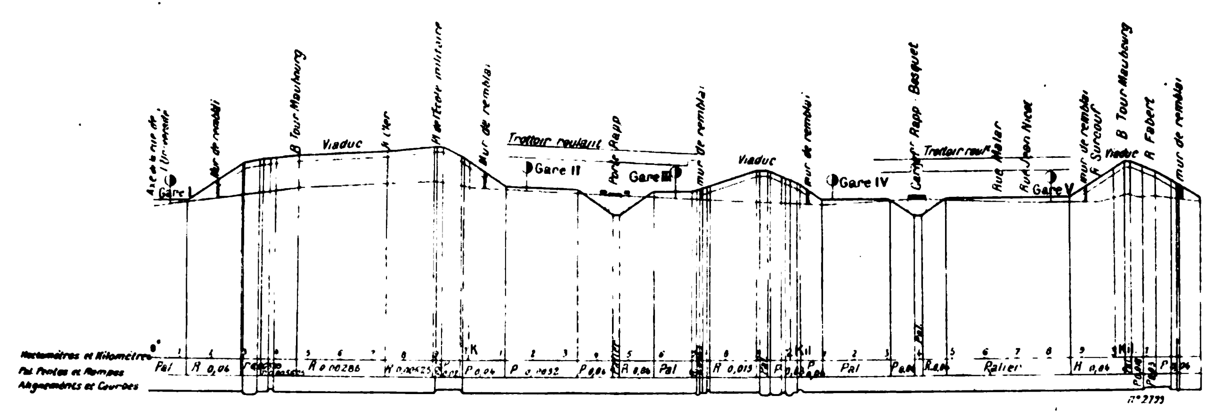


Fig. 2. — Profil en long du Chemin de fer de l'Exposition.

bourg, et qui redescendait ensuite, en gagnant la rue Fabert par une courbe de 42 m de rayon, un alignement de 15 m et une contre-courbe de 40 m de rayon ; là, par une pente de 0,040, la voie revenait au niveau du sol.

Notons que le cahier des charges de la concession avait imposé :

1° Pour les courbes, un rayon au moins égal à 40 m.

2° Entre courbe et contre-courbe, un alignement d'au moins 15 m.

3° Pour les déclivités, une inclinaison maximum de 0,040.

4° Entre deux déclivités consécutives de sens contraires, une partie horizontale d'au moins 20 m.

Enfin, les stations étaient établies aux endroits suivants, où la voie se trouvait au niveau du sol :

1° Esplanade des Invalides ;

2° Avenue de La Bourdonnais, à hauteur de la galerie des groupes électrogènes ;

3° Avenue de La Bourdonnais, à hauteur du Palais des Mines et de la Métallurgie ;

4° Quai d'Orsay, à hauteur de la passerelle du pavillon des Armées de terre et de mer ;

5° Quai d'Orsay, vis-à-vis du pavillon de la Hongrie.

Et les espacements de ces stations étaient de :

1 095 m entre 1° et 2°. 480 m entre 2° et 3°. 488 m entre 3° et 4°. 668 m entre 4° et 5°. 584 m entre 5° et 1°.

Le développement de la voie présentait donc une longueur de : 3 315 m.

2. *Profils en travers.* — La ligne était à voie unique, et la largeur de la voie ferrée était de 1 m entre les bords intérieurs des rails.

La largeur maximum du matériel roulant était de 2,300 m, et sa hauteur au-dessus des rails était de 3,150 m.



Un intervalle libre de 0,70 m était ménagé, sur une hauteur de 3,150 m à partir du niveau des rails, entre les deux verticales extérieures des parties les plus saillantes du matériel roulant et les obstacles fixes les plus rapprochés, lorsque ces obstacles longeaient la voie pendant plus de 2 m, et à l'exception du cas où l'obstacle était un quai d'embarquement ; il en résultait que l'on pouvait toujours se garer du passage d'un train. Malgré cela, dans les murs de soutènement des tranchées on avait ménagé des niches de :

hauteur = 1,20 m, largeur = 2,00 m, profondeur = 0,60 m,

à l'intervalle de 15,00 m et à raison de 4 niches par tranchée ; ces 4 niches se trouvaient

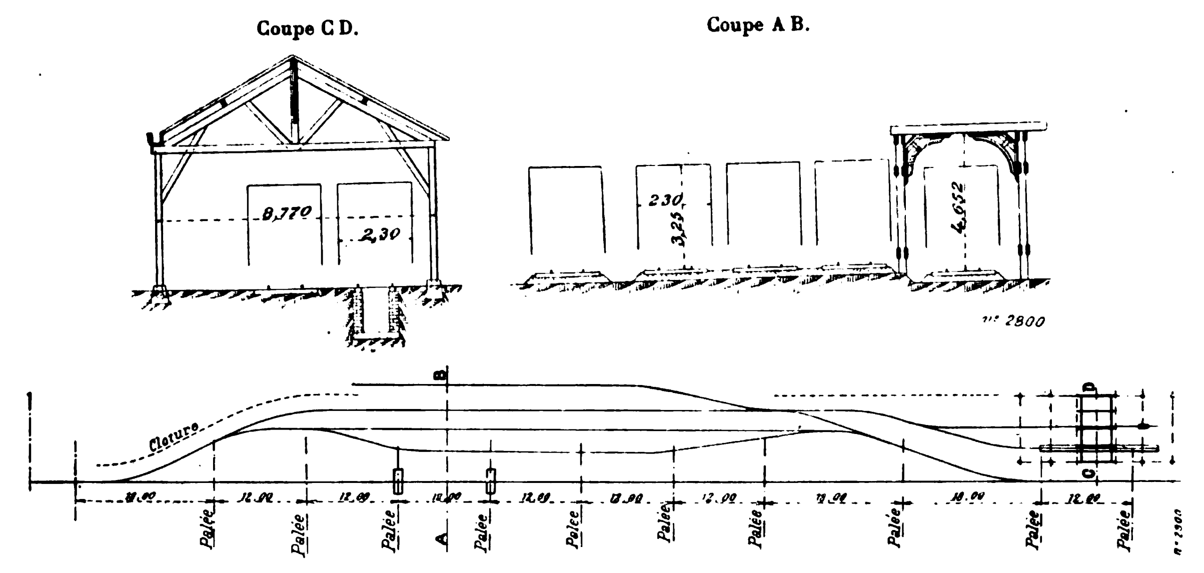


Fig. 3, 4 et 5. — Dépôt : coupes et plan.

symétriquement distribuées de part et d'autre du palier formant le niveau inférieur de la tranchée, et réparties également entre les deux murs.

La hauteur libre au-dessus des rails était toujours supérieure d'au moins 0,25 m à la hauteur du matériel roulant.

Pour les viaducs, la hauteur sous poutre, à partir du niveau des chaussées, était d'au moins 5 m, et les pieds des palées qui reposaient sur les chaussées étaient protégés par des bordures défensives de 0,15 m, en moyenne, de saillie.

Afin de permettre l'écoulement des eaux qui arrivaient sur la voie et, par suite, l'assèchement de cette voie, on avait établi des drains transversaux, constitués par des rigoles comblées avec de la pierre sèche, dans les parties où la voie était sensiblement au même niveau que le sol ; on avait ménagé des barbacanes de :

hauteur = 0,60 m et largeur = 0,06 m,

à l'intervalle de 5 m, dans les murs de soutnèement des remblais, lorsque ces murs étaient continus ; et l'on avait compris le ballast des parties en tranchée entre deux caniveaux où l'eau de la voie pouvait accéder par des barbacanes de 0,08 m × 0,08 m et à l'intervalle de 4,00 m, caniveaux qui rassemblaient les eaux dans de petits bassins d'où elles étaient conduites à l'égout par des tuyaux en grès (l'arrivée dans l'égout se faisait à travers un clapet de retenue). D'autre part, notons en passant que, lorsqu'ils étaient continus, les



murs de soutènement des tranchées présentaient des barbacanes identiques à celles des murs des remblais.

Enfin, pour permettre de respecter complètement les arbres qui bordaient la voie, les murs de soutènement avaient été interrompus vis-à-vis de ceux qu'ils auraient rencontrés, et à chaque intervalle ainsi produit le soutènement était assuré par un rideau de madriers.

Ajoutons que les quais d'embarquement avaient une largeur minimum de 2,50 m, sur une longueur de 50 m; et que leurs bordures étaient établies à 0,05 m en arrière des parties les plus saillantes du matériel roulant et arasées à 0,10 m en contre-bas du niveau du plancher des voitures vides.

3. *Dépôt.* — A la suite de la gare II, et en bordure de la ligne, se trouvait l'emplacement sur lequel avaient été établies les voies de garage (d'un développement total de 450 m) (fig. 3 à 5), les ateliers d'entretien, et les magasins pour les chiffons, l'huile, la graisse, le pétrole. Deux voies en cul-de-sac y étaient abritées par un hangar et présentaient, respectivement, une fosse de 15 m. de longueur et de 1,40 m de profondeur, pour la visite du matériel roulant, et une fosse de 2,40 m de longueur et de 0,50 m de profondeur, pour la mise en place des moteurs sur les boggies qui devaient les recevoir et pour l'opération inverse (l'examen de la disposition du moteur sur le boggie montrera comment l'emploi de la petite fosse facilitait considérablement ces deux opérations). Ajoutons que, pour les voies du dépôt, le rayon minimum des courbes était de 20 m.

II. Installations fixes. — 1. *Voie ferrée.* — La voie ferrée avait 1 m de largeur entre les bords intérieurs des rails. Ces rails, du type Vignole (fig. 6 et 7), étaient en acier, pesaient

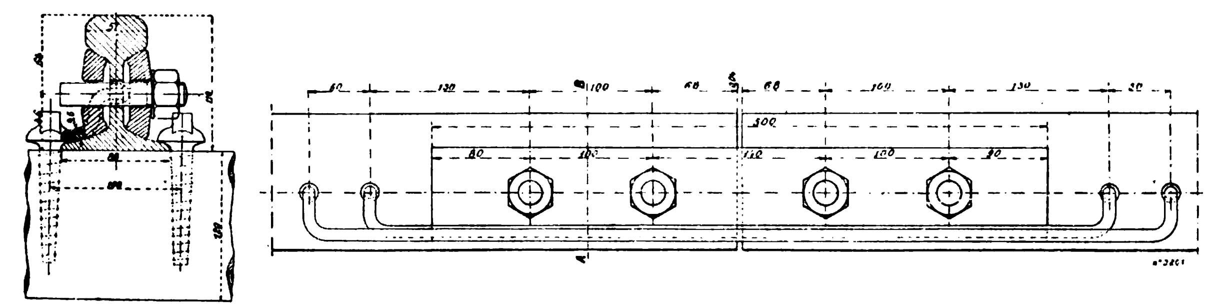


Fig. 6 et 7. — Rail : coupe et élévation.

25 kg par mètre courant, et avaient 12 m de longueur. Ils reposaient directement sur des traverses en chêne auxquelles ils étaient fixés par des tirefonds de 18 mm, à raison de quatre tirefonds par traverse. Les éclisses mécaniques étaient en acier, pesaient 7,230 kg la paire, et étaient maintenues par des boulons de 20 mm. Les rails de roulement, ayant aussi servi à conduire les courants de retour, étaient éclissés électriquement par deux connecteurs à chaque joint, et les deux files de rails étaient reliées électriquement par un connecteur tous les 40 m : chaque connecteur, de joint ou transversal, était formé par un fil de cuivre, de 9,5 mm de diamètre, dont les extrémités pénétraient chacune dans un tube de cuivre, de 15 mm de diamètre extérieur, qui faisait joint entre le fil et le rail; le contact avait été obtenu en refoulant à la bouterolle, du côté du bout du fil, à la fois le tube et le fil, pendant que l'ensemble était maintenu, de l'autre côté, par une pince spéciale (ce connecteur étant le plus économique, son adoption se trouvait tout indiquée pour une exploitation ne devant durer que quelques mois, malgré la résistance, relativement grande, qu'il présente) (fig. 7).

***

Ajoutons que, en raison de la petitesse des rayons qu'avaient les courbes qui formaient les coins du tracé, il avait été reconnu nécessaire d'avoir en ces endroits un contre-rail placé du côté du centre de la courbe, afin d'y diminuer l'usure des boudins des bandages, l'usure des rails, et les chances de déraillement, malgré qu'on trouvait là un dévers de 5 cm.

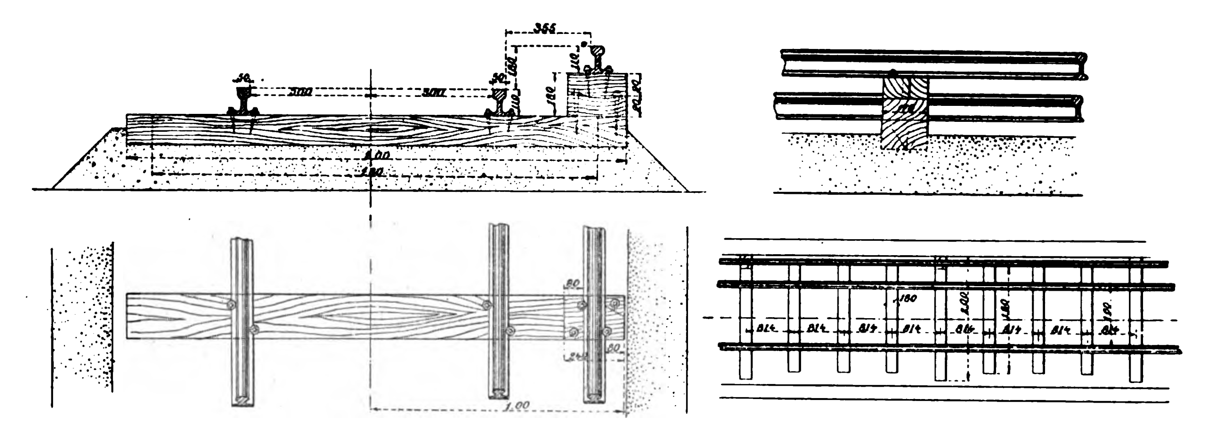


Fig. 8 à 11. — Coupe, élévation et plans, montrant la disposition du rail d'alimentation.

Sur la ligne, le courant était fourni aux voitures motrices par un troisième rail; les rails qui constituaient le conducteur de prise du courant étaient identiques à ceux qui constituaient la voie de roulement. Ce conducteur avait été posé extérieurement à la voie ferrée, et constamment du côté opposé à celui des quais d'embarquement. Il était à la fois porté et isolé par des supports en bois paraffiné à la surface et recouvert d'une couche de peinture isolante (P et B); chaque support était formé de deux blocs ainsi préparés, placés l'un sur l'autre, et reposait sur l'une des extrémités d'une traverse de la voie (type adopté par la Compagnie

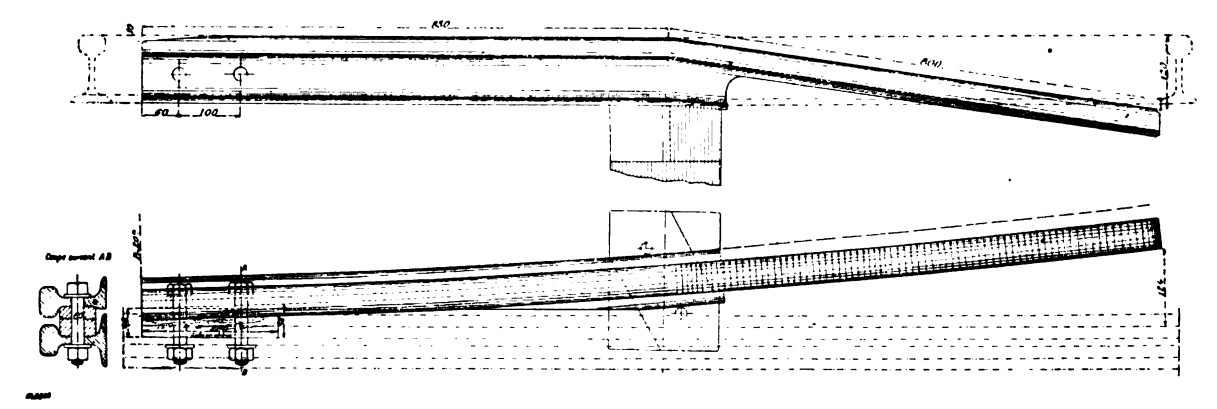


Fig. 12 et 13. — Élévation et plan d'un guide d'accès au troisième rail.

des chemins de fer de l'Ouest, sur la ligne Invalides-Versailles r. g.) (fig. 8 à 11). Le troisième rail était éclissé mécaniquement et électriquement, de la même manière que les rails de roulement; cependant, tout le long du quai d'Orsay on avait cru devoir mettre trois connecteurs à chaque joint, deux prenant dans l'âme du rail et le troisième prenant dans le patin, étant donné que les points de branchement des feeders avaient été situés au carrefour de l'avenue de La Bourdonnais et du quai d'Orsay, et vu le profil de la ligne. De plus, les joints du troisième rail présentaient un jeu de 1 cm entre les abouts des rails,

afin de permettre la libre dilatation de ces rails ; sur une ligne dont de longs alignements se trouvaient souvent exposés pendant longtemps à un fort soleil, cette précaution devait être prise pour éviter la déformation du troisième rail sous l'action de la chaleur (l'expérience l'a démontré). Enfin, aux deux changements de voie, qui, partant de la ligne, correspondaient respectivement à l'entrée et à la sortie du dépôt, le frotteur de prise du courant était guidé, pour accéder sur le troisième rail comme pour le quitter, par un coupon de rail

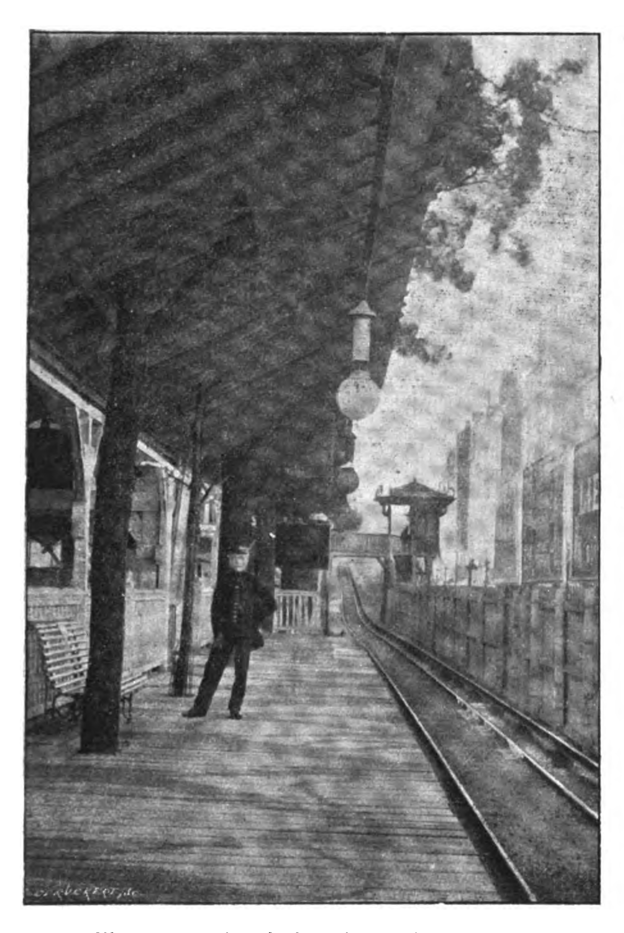


Fig. 14. — Vue de la voie au niveau du sol.

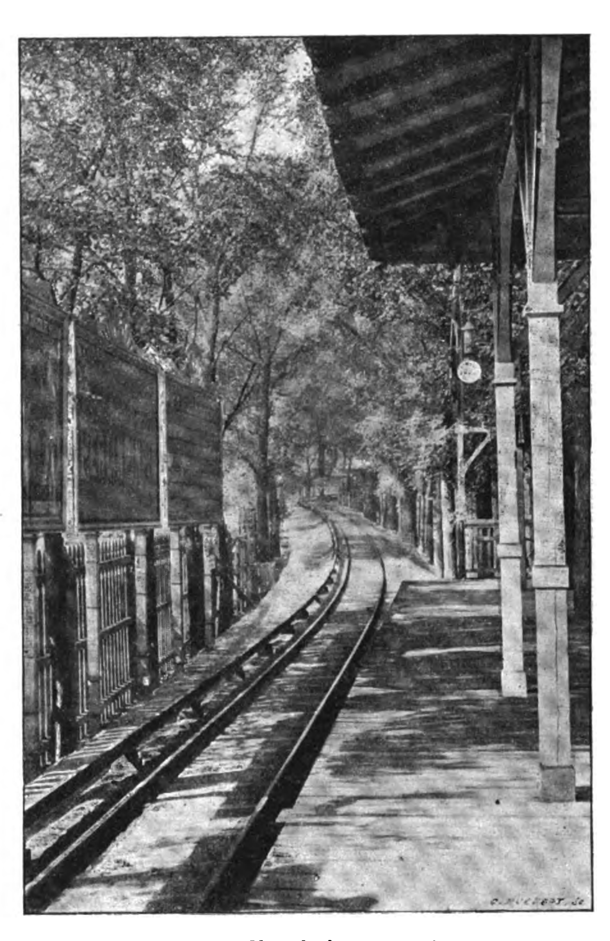


Fig. 15. — Vue de la 3e gare[1].

de forme spéciale; ce coupon suivait la direction de l'embranchement et se trouvait juxtaposé au troisième rail par l'une de ses extrémités (fig. 12 et 13).

Dans le dépôt, les voitures motrices prenaient le courant de conducteurs aériens, constitués par du fil de cuivre, de 9,5 mm de diamètre, soutenu au moyen de tendeurs. A chacune des voies correspondait un fil, et la plupart des tendeurs supportaient chacun trois fils.

Quant aux connexions entre les feeders et les rails, troisième rail et rails de roulement, pour relier le tableau de distribution à la ligne et pour relier le fil aérien au troisième rail, chacune était faite au moyen d'une pièce de branchement, en laiton, qui prenait, d'une part, un connecteur fixé au rail, et identique à un connecteur de joint, et, d'autre part,

---

(1) On voit successivement le viaduc, le remblai et le quai de la gare.

l'âme en cuivre du feeder; ce branchement était isolé au moyen d'une forte couche de caoutchouc naturel recouverte par une bonne épaisseur de toile chattertonnée.

2. *Construction.* — 1. Au niveau du sol (fig. 8 à 11, 14 et 16) — 2. En remblai (fig. 15 et 17) — 3. En tranchée courante (fig. 18).

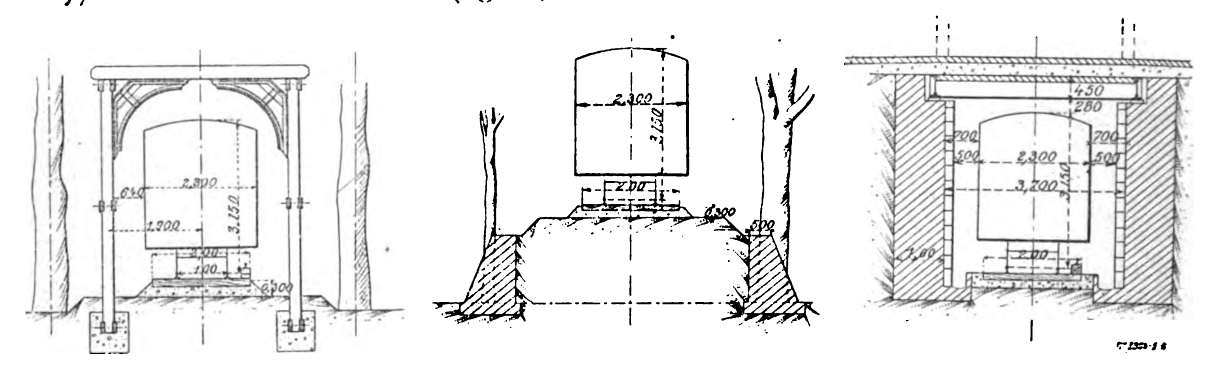


Fig. 16 à 18. — Coupes diverses de la voie.

Dans ces trois cas, les traverses de la voie avaient été posées sur ballast, à l'espacement, d'axe en axe, de 814 mm en partie courante et de 600 mm aux joints, les joints se trouvant en porte à faux; les dimensions de ces traverses étaient :

Longueur = 1,800 m. Epaisseur = 0,120 m. Largeur = 0,180 m.

Les supports du troisième rail étaient alors espacés de :

$$4 \times 0,814 \text{ m} = 3,256 \text{ m},$$

d'axe en axe.

Le ballast était du gravier tout venant, ne contenant ni terre, ni matière argileuse. La couche de ballast avait une épaisseur de 0,30 m et, en couronne, une largeur de 2 m.

4. Traversées des égouts (fig. 19 et 20).

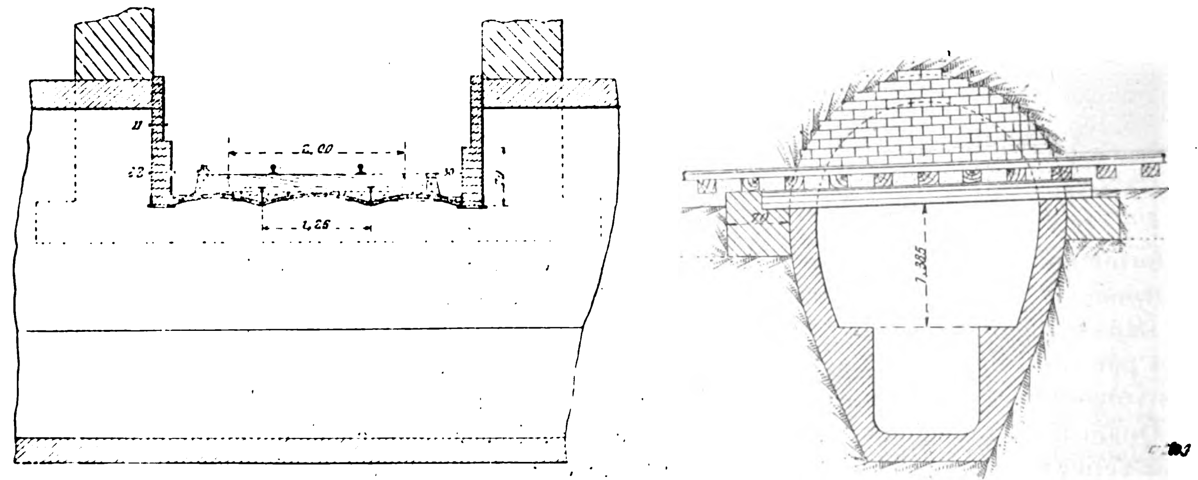


Fig. 19 et 20. — Coupes transversale et longitudinale de la voie à la traverse d'un égout.

La tranchée de l'avenue de La Bourdonnais coupait la voûte du collecteur Rapp, et celle du quai d'Orsay coupait les voûtes des égouts suivants : collecteur de la rive gauche, collecteur Bosquet, collecteur Rapp, égout du quai d'Orsay.

Dans la tranchée de l'avenue de La Bourdonnais (fig. 19 et 20) chacun des deux murs de soutènement franchissait l'égout en s'appuyant sur un rouleau, en meulière, qui, épousant

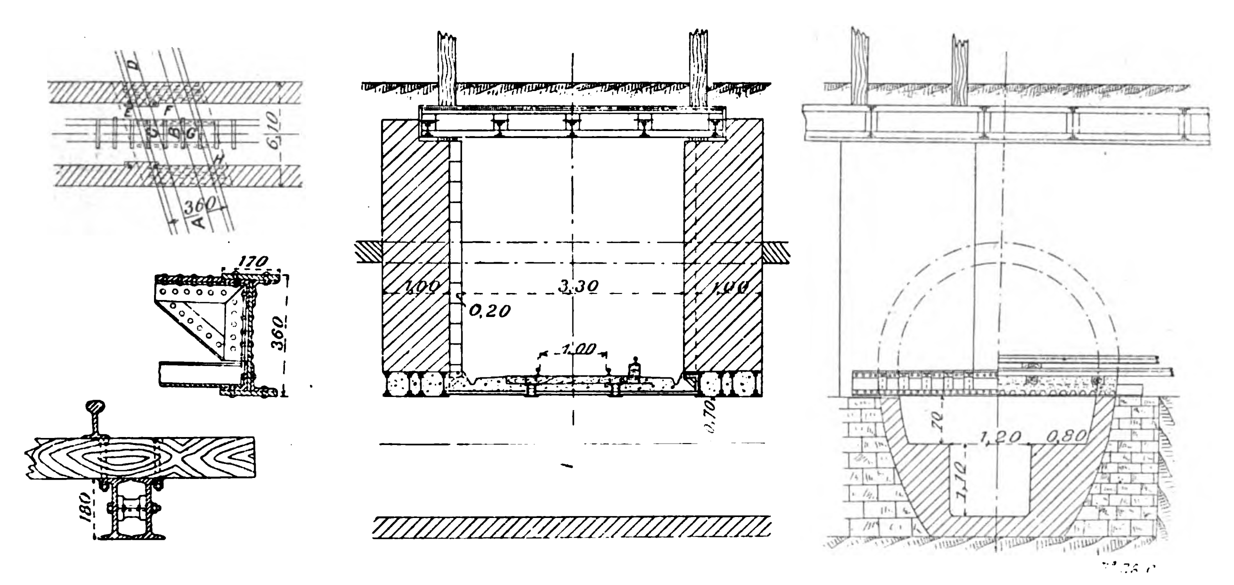


Fig. 21 à 25. — Traversée d'un égout dans les tranchées du quai d'Orsay.

extérieurement la voûte de cet égout, empêchait le poids du mur de se faire sentir notablement sur cette voûte, en reportant sur les empattements situés à ses naissances la presque totalité du poids de la partie de mur qu'il soutenait ; une murette en brique, por-

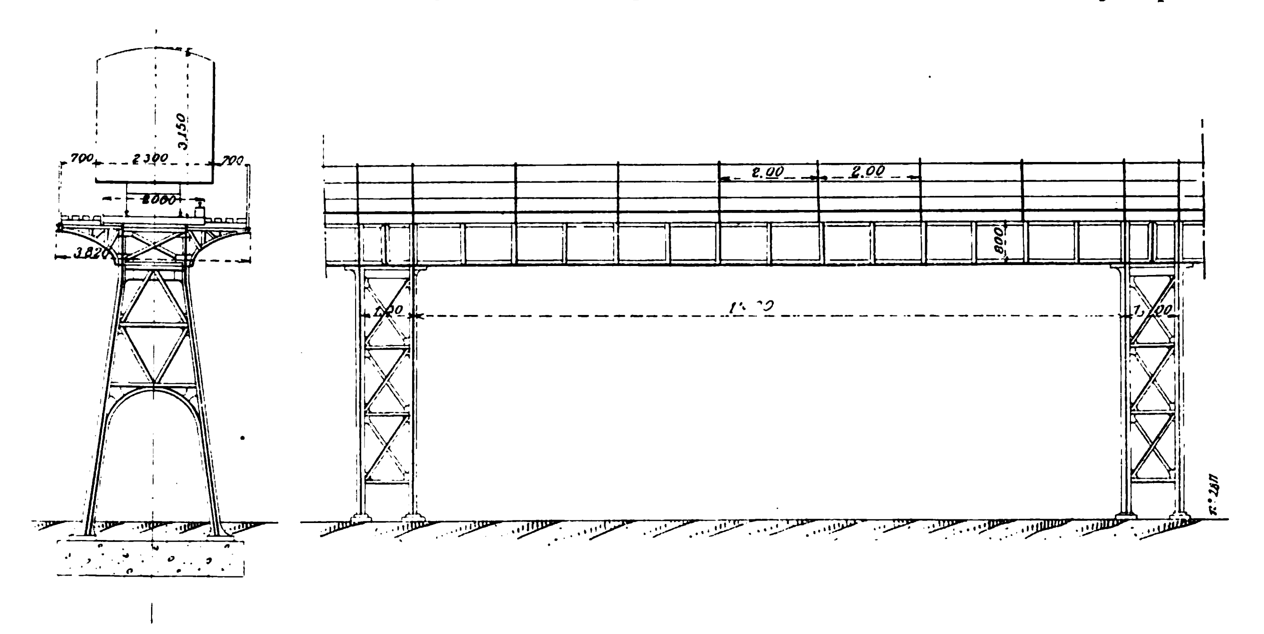


Fig. 26 et 27. — Coupe transversale et élévation longitudinale du viaduc.

tée par deux fers ⊥ qui traversaient l'égout en prenant appui sur ses piédroits, comblait le segment qui apparaissait entre le plan de l'assiette de la voie et le rouleau. Au passage de l'égout, les traverses de la voie étaient supportées par deux poutres métalliques sur

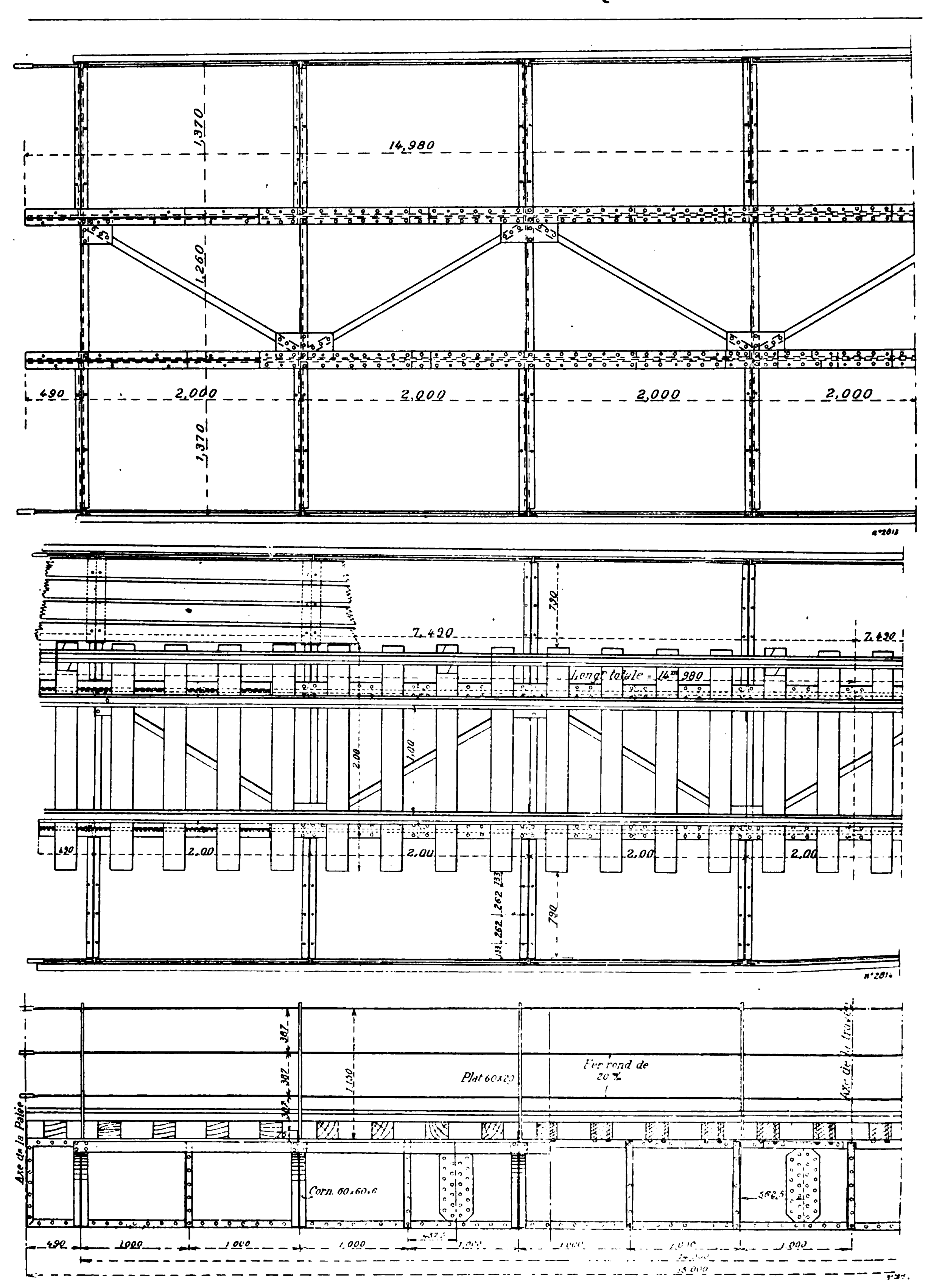


Fig. 28 à 30. — Demi-plan d'ensemble et élévation longitudinale d'une travée de 15 mètres.

lesquelles elles étaient boulonnées, à l'espacement de 0,500 m d'axe en axe ; ces poutres

Fig. 31 et 32. — Palée courante du viaduc.

étaient parallèles aux rails, et chacune de leurs extrémités reposait sur un petit massif en

maçonnerie situé en dehors de l'égout, les deux abouts de poutres placés d'un même côté par rapport à cet égout portant sur le même massif. Enfin, des voûtes, en briques à plat,

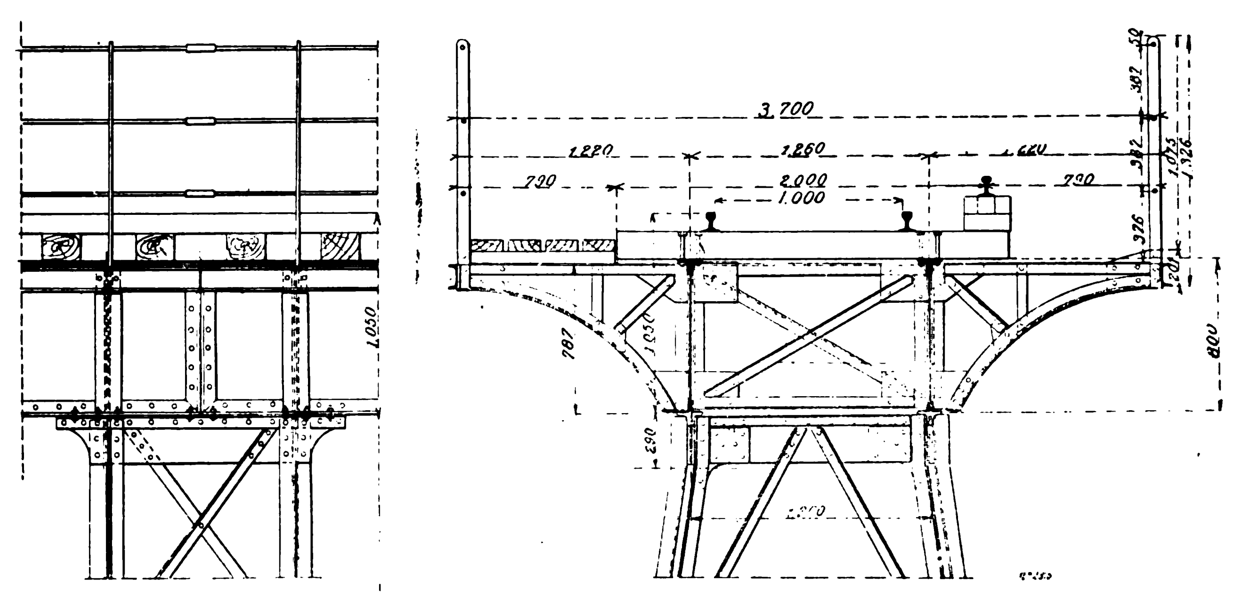
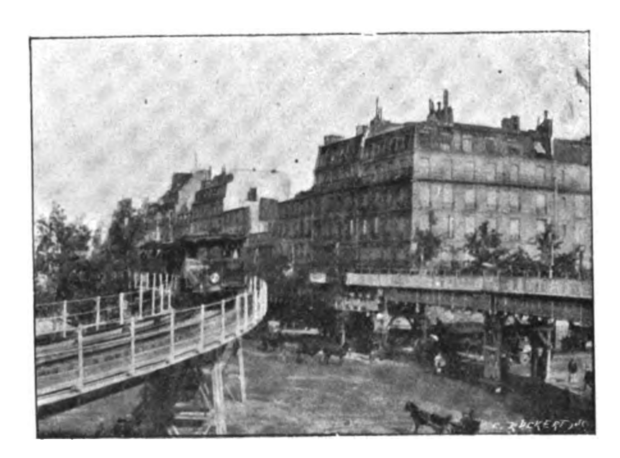


Fig. 33 et 34. — Élévation et coupe de la voie sur viaduc.

jetées entre les différents fers qui traversaient l'égout et recouvertes d'une légère couche de béton, complétaient le plancher établi au-dessus de cet égout ; et, en outre, une mince couche de ballast avai été répandu sur ce plancher pour le protéger.

Dans la tranchée du quai d'Orsay (fig. 21 à 25), où les traversées étaient obliques, les murs



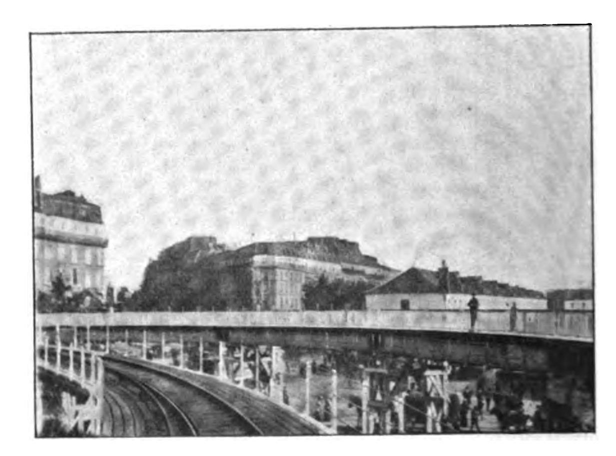


Fig. 35 et 36. — Vues du viaduc.

de soutènement et la voie franchissaient les égouts en reposant sur des poutres en I placées parallèlement aux rails ; la disposition de la voie y était la même que dans le cas précédent. Ces poutres étaient portées, à leurs extrémités, par des massifs en maçonnerie montés contre les parois extérieures des égouts, et sur toute la largeur de la tranchée, de telle façon qu'aucune fatigue n'ait pu se faire sentir sur les piédroits de ces égouts. Enfin, les planchers de ces traversées étaient complétés par des fers zorès, supportés par les poutres

longitudinales, par une couche de béton recouvrant ces fers, et par une légère couche de ballast protégeant le béton.

5. Viaduc (fig. 26 à 36).

En viaduc, les traverses de la voie reposaient sur la partie métallique ; elles étaient entaillées à la demande des poutres, auxquelles elles étaient fixées par des boulons de 18 mm de diamètre, à raison de 4 boulons par traverse. L'espacement de ces traverses était uniformément de 0,500 m, d'axe en axe, et leurs dimensions étaient les suivantes :

Longueur = 2,00 m.
Hauteur = 0,15 »
Largeur = 0,20 »

Les supports du troisième rail étaient alors espacés de :

$$7 \times 0{,}500 = 3{,}500 \text{ m.}$$

Les figures 26 à 34 indiquent le mode de construction qui avait été adopté pour les parties en alignement droit. Partout, les entretoisements, les contreventements, les consoles et les garde-corps n'étaient fixés qu'au moyen de boulons ; et toutes les autres attaches étaient assurées par des rivets (1).

---

(1) Poids. — D'après le métré des aciers :

1° Le poids d'une travée courante (en alignement droit) de 15 m (d'axe en axe des palées) se décomposait ainsi :

Poutres principales	pour une 1 980 kg.	
	pour deux	3 960 kgs.
Entretoisements et consoles	pour un cadre 124 kg.	
	pour huit cadres	992 »
Contreventements		126 »
Garde-corps		805 »
	Total	5 883 kgs.
	Poids au mètre courant	392 »

2° Le poids d'une palée courante (en alignement droit) de 4,90 m était de 1 478 kg, y compris les fers d'ancrage, soit 302 kg par mètre de hauteur.

D'après les pesées :

1° Le poids moyen d'une travée de 15 m était :

En alignement droit. . . . . 5 970 kg, soit 398 kg par m,
En courbe de 40 m de rayon. . . . . . 10 680 », soit 708 » » .

Le poids d'une travée de 17 m était :

En alignement droit. . . . . 8 313 kg, soit 489 kg par m.
En courbe de 40 m de rayon. . . . . . 13 680 », soit 805 » » .

2° Pour les palées, le poids par mètre de hauteur était, en moyenne :

En alignement droit. . . . . 270 kg.
En courbe de 40 m de rayon. . . . . 320 »

Enfin, le poids total des fers qui entraient dans la constitution des viaducs, pour les travées et pour les palées y compris les ancrages), était de 878 000 kg ; ce chiffre résulte de ceux qu'ont données les pesées faites sur les fers qui étaient expédiés au chantier de montage et des modifications suivantes apportées à ces derniers chiffres :

Réduction de 5 p. 100 sur le poids des rivets expédiés. } pour rivets et boulons non utilisés.
Réduction de 2 p. 100 sur celui des boulons expédiés. }
Déduction de 1,5 kg par tonne de fer peint à l'atelier (1 couche de peinture fut donnée à l'atelier et 2 autres couches furent données sur place).

Et ces viaducs présentaient une longueur totale de 1 409 m.

****

3. *Block-system.* — Les trains circulaient tous dans le même sens et, partant du dépôt, suivaient successivement l'avenue de La Bourdonnais, le quai d'Orsay, la rue Fabert, l'avenue de La Motte-Picquet.

Calculs. — La détermination de la travée courante, de 15 m, résulta des données suivantes :

D'axe en axe des appuis	14,00 m.;
D'axe en axe des palées	15,00 »
D'axe en axe des poutres	1,26 »
Hauteur des poutres, hors cornières	0,80 »
Largeur libre entre garde-corps	3,70 »

Charge permanente par mètre courant. { Métal . . . . 360 kg ; Traverses et platelage. 200 » ; Rail. . . . . 60 » } = 620 kg.

Surcharge roulante maximum : Est indiquée par la figure *a*.

En adoptant alors des poutres présentant en leur milieu la section représentée par la figure *b* on obtint un coefficient de travail de

7,23 kg par mm².

Les poutres des travées en alignement droit étaient boulonnées sur les sommiers des palées; et les trous des boulons correspondant étaient ovalisés de 3 en 3 palées, dans le but de permettre le libre jeu de la dilatation. Donc, comme l'indique le diagramme représenté en figure *c*, entre 2 palées à appuis mobiles, A et D, il y avait deux palées à appuis fixes, B et C.

On fit le calcul de la palée en considérant le cas d'une palée à appuis fixes, c'est-à-dire le cas de la fatigue maximum, puisqu'une telle palée devait résister à la fois aux charges

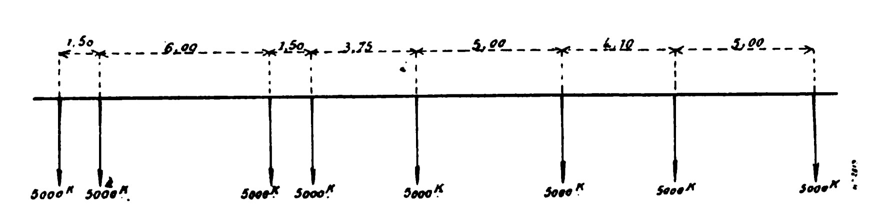



Fig. *a*. — Surchage roulante maximum.

Fig. *b*. — Section d'une poutre.

verticales et à l'effort d'entraînement longitudinal qui pouvait être produit par l'arrêt brusque d'un train. Or, en admettant que les freins fonctionnent en plein et enrayent la marche de tous les essieux, on obtient un effort

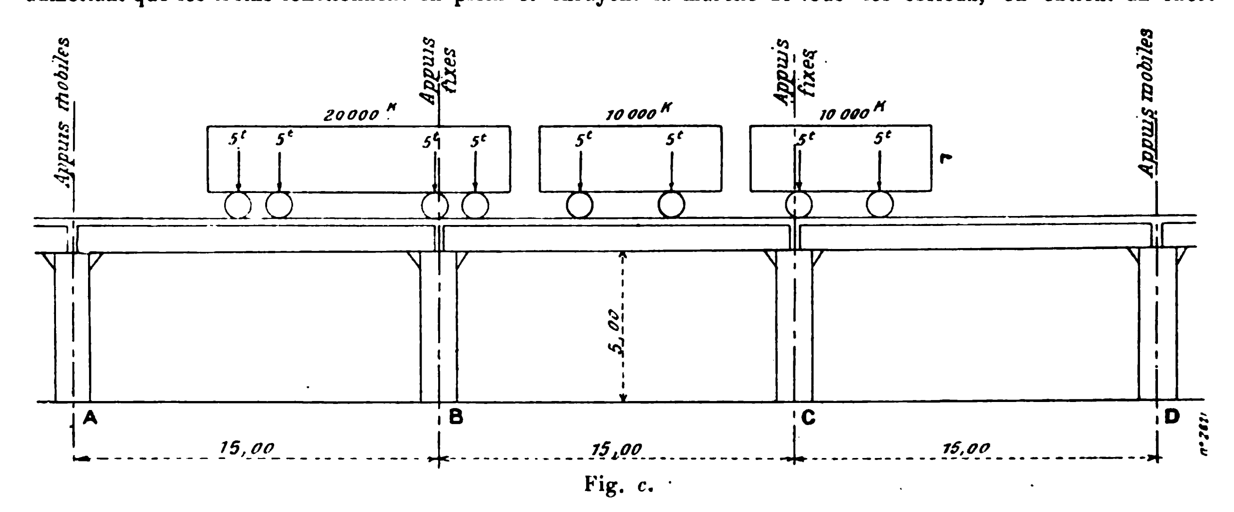


Fig. *c*.

d'entraînement de $1\,000 \times 0,15 = 150$ kg par tonne de poids freiné (Maximilien Leber et Charles Bricke); tandis qu'en admettant que le train lancé à 20 km à l'heure s'arrête en 20 m sur une pente de 0,04 (freinage imposé par

A chacun des quatre coins du tracé se trouvait une section protégée par un signal : La

le cahier des charges de la concession), on ne trouve comme effort d'entraînement que

$$\underbrace{\frac{m v^2}{2} \times \frac{1}{d}}_{\text{effort retardateur}} + \underbrace{0{,}04\ P}_{\text{effort moteur dû à la composante Q'' du poids mobile (fig. } d)} = \frac{1}{2} \times \frac{1\,000}{9{,}81} \times \left(\frac{20\,000}{3\,600}\right)^2 \times \frac{1}{20} + 0{,}04 \times 1\,000 = 78 + 40 = 118 \text{ kg, par tonne de poids freiné.}$$

Et puisqu'on pouvait avoir un train complet, c'est-à-dire 40 tonnes au maximum, entre deux appuis mobiles, on avait à prévoir un effort d'entraînement maximum de

$$40 \times 150 = 6000 \text{ kg},$$

soit 3 000 kg pour chacun des deux appuis fixes entre lesquels cet effort se serait réparti ; l'effort en question devait créer, dans la palée, un moment de flexion qui devait être maximum dans la section de base (fig. *e*).

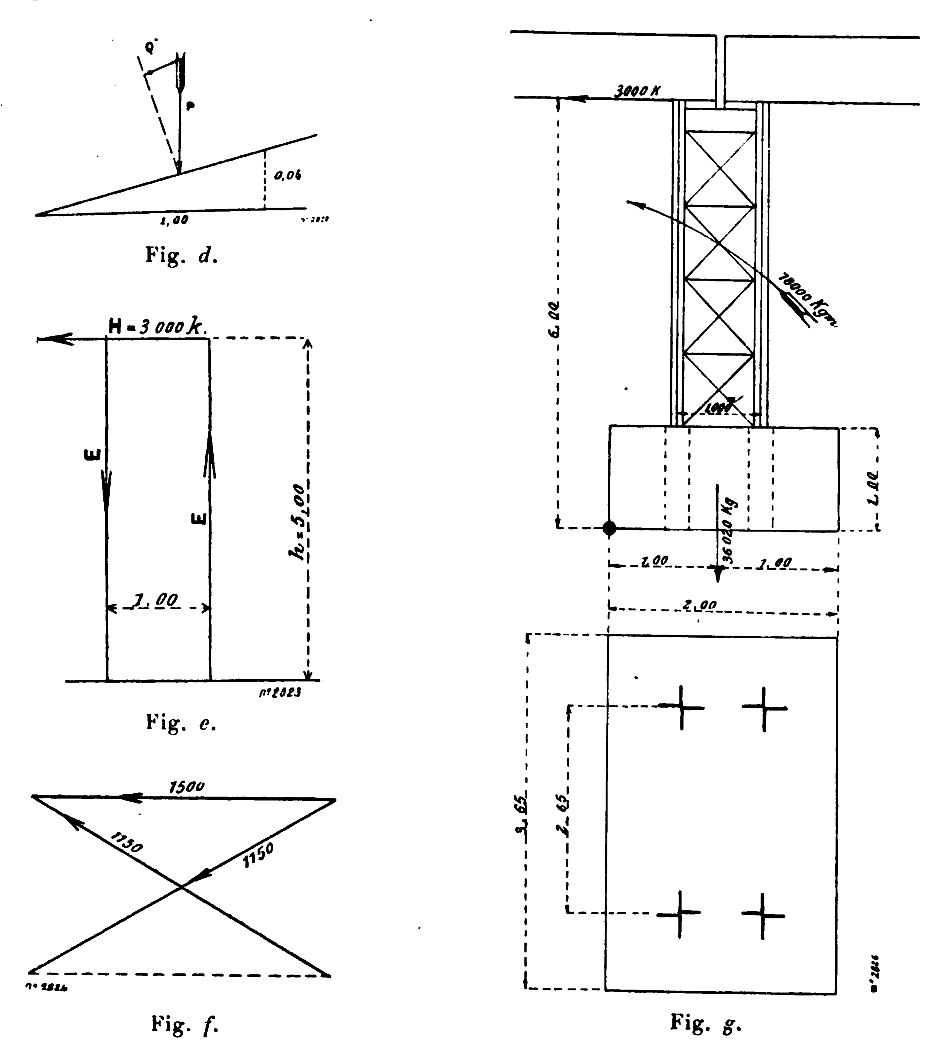


Fig. *d*.

Fig. *e*.

Fig. *f*.

Fig. *g*.

Sous l'action des charges verticales (charge maximum transmise par les travées, charge permanente due au poids propre de la palée) c'est encore la section de base qui fatigue le plus.

Finalement, le coefficient de travail y aurait ainsi atteint 7,3 kg par mm² dans les arbalétriers comprimés ; les boulons d'ancrage auraient supporté 1,88 kg par mm², et le treillis aurait supporté 2 kg par mm² (fig. *f*). En

section commençait au plus tard à la naissance de la courbe. Lorsque le coin était immédiatement suivi d'une pente aboutissant à une station (carrefour La Motte-Picquet-La Bourdonnais, La Bourdonnais-Orsay, Orsay-Fabert — voir fig. 1 et 2), la section se terminait à l'extrémité aval de cette station ; autrement le coin était immédiatement suivi par une rampe faible (carrefour Fabert-La Motte-Picquet — voir fig. 1 et 2), et la section se terminait à l'extrémité aval de ce coin.

Entre les sections qui viennent d'être indiquées l'exploitation se faisait à vue, avec l'obligation, sauf en cas de force majeure, de réserver une distance d'au moins 50 m entre deux trains consécutifs. (En dehors des sections protégées par les signaux, la distance de visibilité d'un train par le suivant était au minimum de 80 m — quai d'Orsay, partie en courbe).

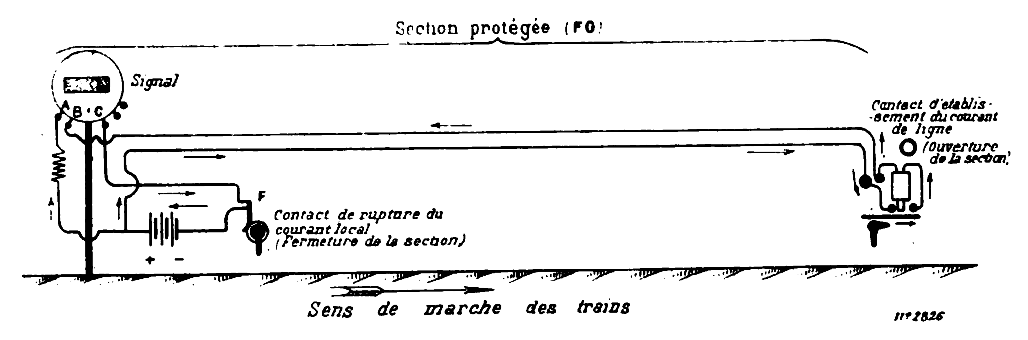


Fig. 37. — Schéma d'une installation à signal simple.

Dans ces conditions, on fît un service dont la période a pu descendre à 2 minutes sans qu'aucun danger ne se soit présenté.

Les signaux employés étaient à commande électrique automatique, système Timmis-Lavezzari.

Dans ce système :

1° Un signal ne peut être à la position de voie libre que s'il est traversé par un courant;

2° Un signal dans lequel ne passe pas de courant se met de lui-même à la position de voie fermée.

Les sections La Motte-Picquet-La Bourdonnais et La Bourdonnais-Orsay étaient munies chacune d'une installation à signal simple. Les sections Orsay-Fabert et Fabert-La Motte-Picquet présentaient, à elles deux, une installation de signaux conjugués (fig. 1).

Signal simple. — Le principe d'une installation à signal simple est le suivant (fig. 37 à 39).

Lorsqu'un train s'engage dans une section que protège un signal, sémaphore d'un type

---

outre, 2 aurait été la valeur minimum du coefficient de stabilité, et le sol aurait supporté une fatigue maximum de 1,34 kg par cm² (fig. 9).

Pour la confection des travées et des palées, on prit de l'acier doux qui donna les résultats généraux suivants aux essais de réception.

1° Résistance : { Moyenne : 42 kg par mm². Minimum : 38 kg par mm². }

2° Allongement : 22 p. 100.

3° Pliage. . . { Les barrettes de pliage ont pu être ployées complètement à bloc, dans le sens du laminage, sans présenter ni crique, ni effeuillure. }

Quant au fer employé, il donna :

1° Résistance : 32 kg par mm².

2° Allongement : 8 p. 100.

ordinaire ou disque tournant, au moment où l'arrière du train franchit ce signal il y a action sur un interrupteur F, soit au moyen de pédales actionnées par les boudins des roues, soit au moyen d'une barre de choc porté par l'une des voitures (à la main si l'on ne veut pas d'automaticité). Cette action a pour effet d'ouvrir (en F) un circuit (+ A*ac* CF—) (fig. 39) parcouru par un courant qui, en agissant sur l'électro-aimant M, maintient le signal à la position de voie libre. Et le signal se met de lui-même à la position de voie fermée, sous l'action de la pesanteur par exemple; par ce mouvement, l'armature de M est décollée et la pièce *c*, entraînée par cette armature, quitte son contact avec *a* pour venir en contact avec *b* (fig. 38). Enfin, dès que le train n'agit plus sur F, cet interrupteur revient seul à sa position normale, position dans laquelle il y a communication électrique entre ses deux bornes.

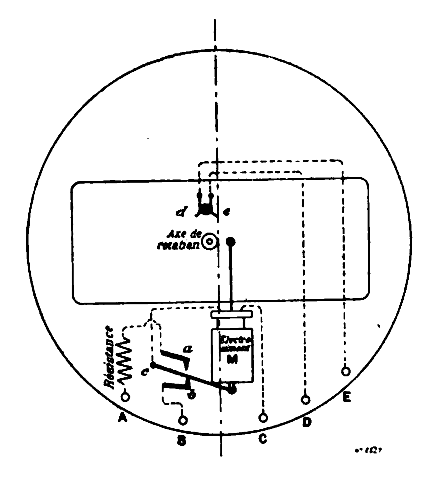



Fig. 38. — Signal, voie fermée.

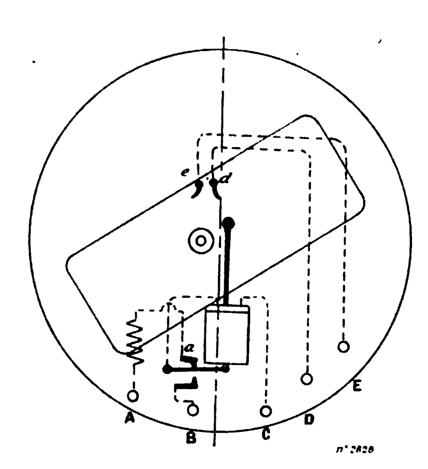


Fig. 39. — Signal, voie ouverte.

Le train est alors protégé par le signal qu'il vient de dépasser, et cette protection continue jusqu'au moment où, sortant de la section considérée, il vient agir, par des moyens identiques à ceux par lesquels il a commandé l'interrupteur F, sur un interrupteur O. L'effet de cette seconde action est de fermer (en O) un circuit (+ OB *bc* CF —) (fig. 38) par lequel passe alors un courant qui, en agissant sur l'électro-aimant M, rappelle le signal à la position de voie libre ; le contact entre *c* et *b* avait été établi par le précédent mouvement du signal, mais le circuit restait ouvert en O, de sorte qu'aucun courant ne pouvait encore passer. En même temps qu'il produit le mouvement du signal, le déplacement de l'armature de M amène *c* en contact avec *a* puis rompt le contact de *c* avec *b*, et le signal se trouve maintenu dans la position de voie libre par le courant qui s'établit alors dans le circuit + A *ac* CF — ; le circuit + OB *bc* CF — se trouve donc interrompu entre *b* et *c* lorsque le signal s'est mis à la position de voie libre. Enfin, ce n'est qu'au moment où, par suite du mouvement de *c*, le courant ne circule plus dans le circuit + OB *bc* CF — que l'interrupteur O revient à sa position normale, position dans laquelle la communication électrique est interrompue entre ses bornes ; on est donc certain que O ne réinterrompra pas le circuit avant que le courant n'ait eu le temps d'agir sur le signal.

On voit qu'il faut que M soit traversé par un courant pour que le signal se mette à la position de voie libre, et aussi pour qu'il y reste. Par conséquent, qu'il se produise un accident dans la source d'électricité, une rupture de fil ou une sortie de fil à l'une des bornes, et le signal fermera la section. Seuls, les courts-circuits entre les fils de ligne,

+ O et OB, sont à craindre, parce qu'ils permettraient au circuit de ligne de se fermer sans que O soit manœuvré, c'est-à-dire sans que le train à protéger soit sorti de la section ; en particulier, ce circuit se fermerait alors entre *b* et *c* dès qu'un train mettrait le signal à la position de voie fermée, de sorte que le signal ne resterait pas à cette position et que, par suite, il ne pourrait plus protéger ; mais ici ces accidents sont faciles à éviter.

D'autre part, malgré que le courant doive passer dans M tant que la section protégée est libre et qu'il soit nécessaire, pour mettre en mouvement certains signaux, de pouvoir disposer d'un courant d'une intensité relativement grande, il ne faut pas consommer une trop forte quantité d'énergie. C'est pourquoi l'on utilise deux intensités différentes : l'une, relativement grande, circule dans le circuit de ligne (+ OB *bc* CF —) et sert à faire démarrer le signal, pour le rappeler à la position de voie libre ; l'autre, relativement petite, circule

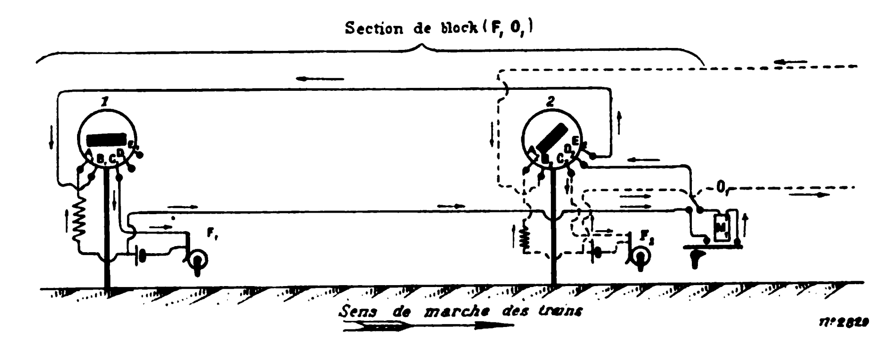


Fig. 40. — Schéma d'une installation à signaux conjugués.

dans le circuit local (+ résistance A *ac* CF —) et sert à maintenir le signal dans la position de voie libre. Ces deux intensités peuvent être prises sur la même source et avoir néanmoins des valeurs très différentes en raison d'une différence que présenteront les résistances de leurs circuits respectifs, différence que l'on créera en intercalant un rhéostat en série dans le circuit local. La plus grande ne passe que pendant un temps très court, le temps que met la pièce *c* à passer de son contact avec *b* à son contact avec *a*, tandis que la plus petite est celle qui circule pendant tout le temps que le signal doit rester à la position de voie libre; les deux intensités se succèdent, automatiquement et sans interruption, lorsque le signal passe de la position de voie fermée à la position de voie libre.

Enfin, pour que l'interrupteur O ne puisse reprendre sa position normale que lorsque le courant de ligne vient d'être interrompu par le mouvement même du signal, cet interrupteur ferme le circuit de ligne en réunissant électriquement deux bornes entre lesquelles la connexion mobile se trouve maintenue par l'action d'un électro-aimant excité par le courant de ligne (fig. 37); l'électro-aimant agit donc dès que ce courant prend naissance, c'est-à-dire dès que O est manœuvré, et tant que ce courant circule, c'est-à-dire tant que le signal n'a pas répondu à son action.

Signaux conjugués. — Le principe d'une installation à signaux conjugués est le suivant (fig. 40) :

Lorsqu'un train s'engage dans une section protégée par un signal, le signal 1 par exemple, il détermine le passage de ce signal de la position de voie libre à la position de voie fermée, en agissant sur un interrupteur de rupture, F_1. Puis, sortant de cette section pour entrer dans la section suivante, le train détermine le passage du signal qui protège la seconde section, le signal 2 par exemple, de la position de voie libre à la position de



voie fermée, par son action sur un nouvel interrupteur de rupture, F_2; et il vient ensuite agir sur un interrupteur de fermeture, O_1, pour déterminer le retour du signal 1 de la position de voie fermée à la position de voie libre. Enfin, les signaux 1 et 2 sont conjugués en ce sens que le train ne peut rouvrir la première section, par son action sur O_1, que s'il a fermé la deuxième, par son action sur F_2; donc, entre l'action sur F_2 et l'action sur O_1 il devra s'écouler un temps au moins égal à celui qui correspond au fonctionnement complet du signal, et la distance $F_2 O_1$ ne sera limitée que par cette condition.

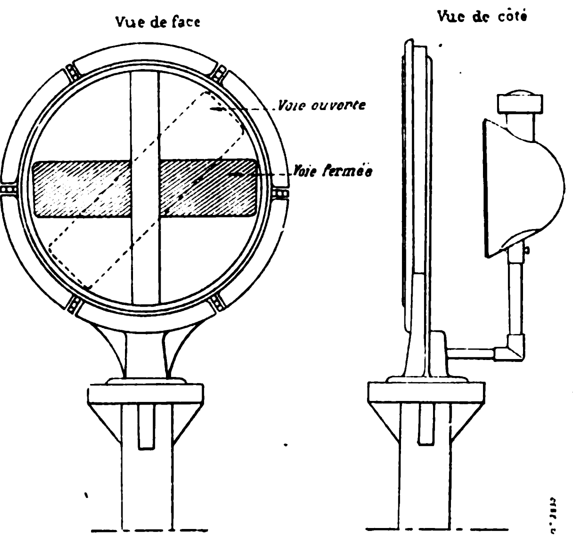
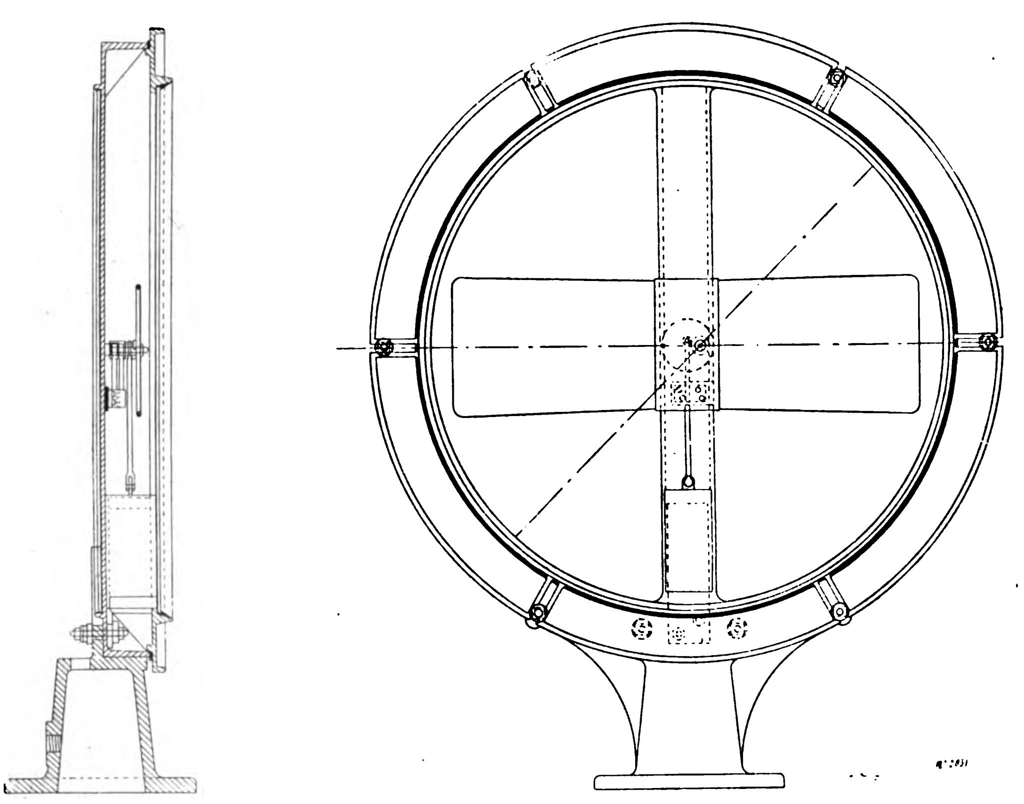


Fig. 41 et 42. — Signal.

Le fonctionnement des appareils s'effectue dans ce cas de la même façon que dans le cas précédent. Et la conjugaison des signaux 1 et 2 s'obtient en faisant passer le circuit de ligne du signal 1 par les contacts d'un interrupteur monté sur le signal 2 (fig. 40) ; cet interrupteur, *de* (fig. 38 et 39), complète ou coupe le circuit de ligne du signal 1, et par


Fig. 43 et 44. — Signal.

suite permet ou ne permet pas la réouverture de la section 1, suivant que le signal 2 ferme ou laisse ouverte la section 2.

Avec cette dernière installation on peut donc avoir un block-system absolu, c'est-à-dire faire en sorte qu'un train quelconque soit toujours protégé par un signal.

Sur la ligne du chemin de fer de l'Exposition les appareils étaient extrêmement légers :

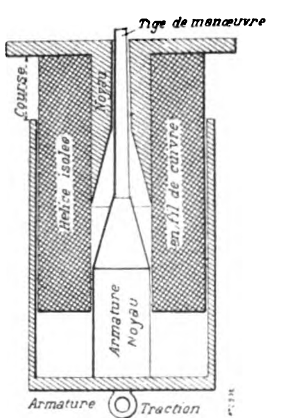


Fig. 45.

1° Chaque signal (fig. 41 à 44) était constitué par un bras rectangulaire mobile à l'intérieur d'une boîte plate où se trouvait aussi l'électro-aimant M, la résistance du circuit local et l'ensemble des contacts *c*, *a* et *b*. Cette boîte avait la forme d'un disque et elle était placée au sommet d'un poteau en bois, de champ et perpendiculairement à la direction de la voie. La face qui regardait venir les trains était en verre blanc transparent, et la face opposée était en verre blanc opaque ; le bras mobile était en étoffe rouge et transparente ; et la nuit le tout était éclairé par transparence, au moyen d'une lampe munie d'un réflecteur.

Le bras fermait la voie en se plaçant horizontalement, sous l'action de la pesanteur, et il l'ouvrait en s'inclinant de 45°, sous l'action du courant.

L'électro-aimant M (fig. 45) a été étudié en vue d'y obtenir une bonne utilisation du courant d'excitation [1]. Cependant on peut dire que, tout au moins pour les cas où les efforts à produire sont notables, ce type serait avantageusement remplacé par un type qui présenterait à la fois une moindre inertie des pièces mobiles, à puissance égale, et un effort constant, sous courant constant ; avec un tel électro-aimant, en effet, l'intensité la plus grande serait fort réduite.

2° Chaque interrupteur de rupture (fig. 46 et 47) était constitué par deux lames de cuivre qui formaient les deux bornes de l'appareil, par un disque épais en matière isolante portant une bande de laiton sur une partie de sa périphérie, et par un bras en fer qui oscillait autour d'un axe horizontal, solidairement avec le disque. Sous l'action de la pesanteur le bras se plaçait verticalement, et les deux lames de cuivre se trouvaient alors réunies électriquement par le laiton du disque ; mais, en passant devant l'interrupteur le train attaquait ce bras et l'inclinait (fig. 49 et 50), il y avait entraînement du disque, et la partie en laiton échappait les lames de cuivre, ce qui déterminait la rupture du circuit local.

3° Chaque interrupteur de fermeture (fig. 48) était constitué par deux petites bornes, l'électro-aimant M', une petite lame de ressort, et un levier coudé à branches très inégales. Ce levier oscillait autour d'un axe horizontal, et son grand bras se plaçait verticalement sous l'action de la pesanteur. Lorsque le courant de ligne était interrompu la lame de ressort n'était pas maintenue au contact des deux bornes, et le circuit de ligne y était coupé ; mais, en passant devant l'interrupteur le train attaquait le levier et l'inclinait (fig. 49 et 50) la lame de ressort, soulevée par le petit bras du levier, venait s'appliquer sur les deux bornes, et, ces deux bornes étant alors réunies électriquement, le circuit de ligne était fermé ; l'électro-aimant M' maintenait la lame de ressort soulevée tant qu'il était excité, c'est-à-dire tant que le courant de ligne passait.

4° Tous ces interrupteurs étaient actionnés au moyen de barres de choc (fig. 51 et 52), chaque voiture motrice ayant été munie d'une telle barre ; la barre de choc était fixée, par

(1) D'après le constructeur, les divers types déjà construits ont donné les résultats suivants :

Force en kilogrammes.	45,4	12,7	31,8	93.	64,9	4,5	99,8	110,7	172,4.
Course en millimètres.	9,5	31,8	38,1	63,5	69,9	76,2	101,6	101,6	101,6.

l'intermédiaire de deux cornières en fer, aux boîtes à huile du boggie arrière de la voiture, du côté opposé à celui du troisième rail. (Par suite de cette disposition, l'avant de la barre de choc se trouvait à 22 m en avant de l'arrière du train; on dut donc placer

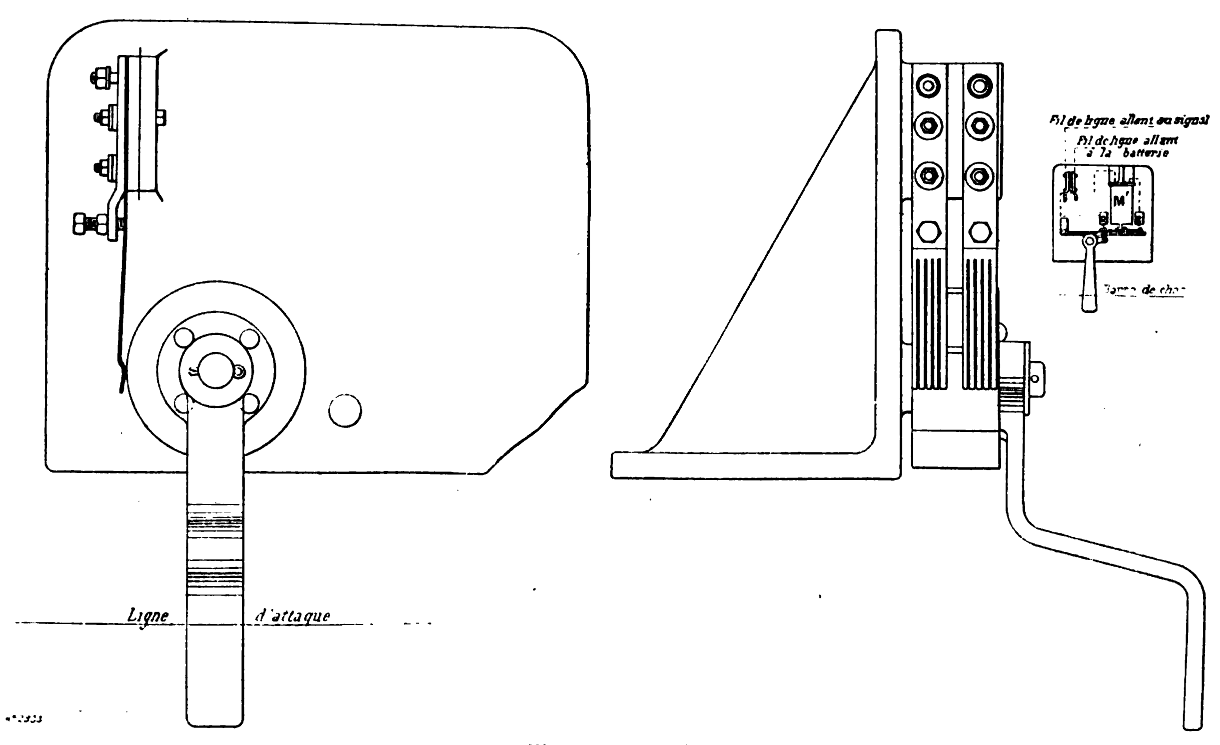


Fig. 46, 47 et 48.

chaque interrupteur de rupture à 22 m en aval du signal auquel il correspondait.) Pour chacune de ces barres, l'attaque complète se faisait sur une longueur de 2,50 m, et la longueur totale de la barre était de 2,75 m; l'action avait ainsi une durée suffisante.

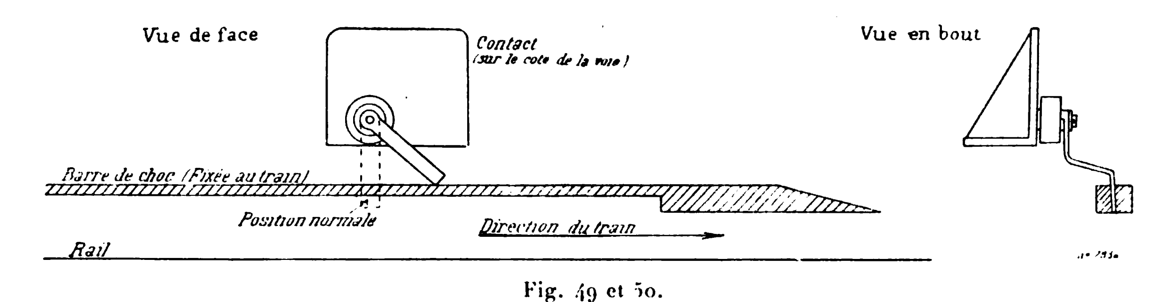


Fig. 49 et 50.

5° Les courants nécessaires étaient fournis par des accumulateurs du type « Aigle », à raison d'une batterie de cinq éléments par section.

A cet égard, il nous semble qu'en principe il y aurait avantage à séparer la batterie de chaque section en deux parties, devant fournir respectivement la forte intensité et la faible intensité, afin de n'avoir pas à utiliser de rhéostats travaillant d'une manière pour ainsi dire continue, à très faible intensité il est vrai.

6° Les lignes étaient constituées par du fil de cuivre nu, de 2 mm de diamètre.

Nous devons ajouter que les signaux ne réclamèrent aucun entretien ; que les interrupteurs ne réclamèrent que de rares visites, pour le graissage des leviers mobiles et la vérification du serrage des bornes ; et que la surveillance des batteries était réduite à une vérification bimensuelle de leurs voltages, ce qui conduisait à recharger tous les mois, en moyenne. (Chaque soir, après le passage du dernier train, tous les signaux étaient mis, à

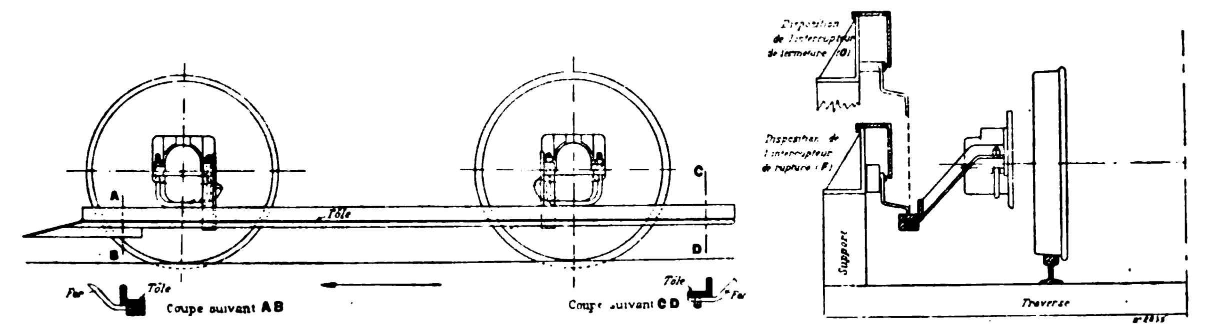


Fig. 51 et 52.

la main, à la position de voie fermée, afin d'interrompre les courants locaux pendant l'arrêt du service; chaque matin, le premier train trouvait donc tous les signaux à la position de voie fermée.)

D'après M. S.-B. Cotrell — *Institution of Civil Ingineers*, 11 décembre 1900 — sur le « Liverpool Overhead Railway » ce système marche dans les conditions suivantes :

Block-system absolu ; manœuvre des interrupteurs au moyen d'une barre de choc portée par la dernière voiture du train, pour que cette voiture soit protégée même au cas d'une rupture d'attelage; courants fournis par des accumulateurs, sous 50 volts ; intensité de démarrage = 5 ampères, sous 40 volts ; intensité de collage = 0,25 ampère, sous 40 volts. Consommation d'énergie par signal et par jour dans le cas d'un service à 3 minutes pendant 20 heures par jour : le courant de démarrage, passant 400 fois, débite 2 000 ampères-seconde, ou 0,5 ampère-heure; le courant de collage, pendant 1,5 minute à chaque opération, passe en tout pendant 600 minutes et débite 150 ampères-minutes, ou 2,5 ampères-heure — 5 fois plus que le courant de démarrage. Proportion moyenne des ratés : 1 sur 14 156 857 opérations.

(*A suivre.*) H. TRIPIER.

LES SYSTÈMES

DE TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE A GRANDE DISTANCE

DE PUPIN, THOMPSON ET REED [1]

V. LE SYSTÈME DE THOMPSON. — Un long conducteur uniforme forme une boucle AB. Sa longueur totale est $2l$.

La distance entre le transmetteur A et le récepteur B est alors l ; R, L, et C représentent la résistance, l'inductance et la capacité par unité de longueur [respectivement en ohms, henrys et farads, par milles anglais (1 600 m environ)] dans le conducteur uniforme.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 31 août, t. XXVIII, p. 325.

A des distances égales, comme l'indique la figure 5, k bobines égales 1, 2,.... k, ayant chacune une résistance de R_0 ohms et une inductance de L_0 henrys, sont montées en dérivation sur la

Fig. 5.

ligne, de sorte que la boucle entière est divisée en $2k$, parties égales, dont chacune a une longueur $\frac{l}{k}$.

Pour abréger, nous écrirons

$$z_0 = R_0 + ipL_0$$
$$z = R + ipL.$$

A l'extrémité où se trouve le transmetteur A s'exerce dans la ligne une force électromotrice Ee^{ipt}. Soit y_m l'intensité du courant en un point quelconque entre les bobines m et $m+1$. Désignons par ξ la distance de ce point à la bobine m. L'équation différentielle du courant y_m en un point quelconque est la même que l'équation (1), c'est-à-dire :

$$L\frac{d^2y_m}{dt^2} + R\frac{dy_m}{dt} = \frac{1}{C}\frac{\partial^2 y_m}{\partial \xi^2}. \qquad (6)$$

L'intégrale générale de cette équation s'obtient d'après l'équation (2)

$$y_m = K_1 \cos M\xi + K_2 \sin M\xi \qquad (9)$$

dans laquelle

$$M^2 = -C(-p^2L + ipR).$$

Si $M = \alpha + i\beta$, nous avons

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2}pC\left[\sqrt{p^2L^2 + R^2} + pL\right]} \qquad (8)$$
$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2}pC\left[\sqrt{p^2L^2 + R^2} - pL\right]} \ [1]$$

L'intégrale (7) doit satisfaire à k équations limites, qui s'obtiennent facilement d'après la règle de Kirchoff, appliquée à chaque point où vient se brancher un pont sur la ligne uniforme.

Soient $x_1\, x_2 \ldots\ldots x_k$ les courants respectivement dans les bobines 1, 2,.... k.

Les k équations limites (1) sont alors :

$$x_1 = (y_0)_{\xi = \frac{l}{2k}} - (y_1)_{\xi = 0} \ [2]$$
$$x_m = (y_{m-1})_{\xi = \frac{l}{k}} - (y_m)_{\xi = 0} \qquad (9)$$

dans lesquelles $m = 2 \ldots k$.

---

[1] Voir les articles parus dans le numéro 227 de *L'Industrie électrique* (10 juin 1901) sous le titre : La transmission électrique ondulatoire sur les câbles non uniformes, page 247, et dans le n° 31 (3 août 1901) de *L'Éclairage Électrique*, sous le titre : Système Pupin pour la transmission des ondes électriques.

[2] La raison pour laquelle l'équation qui donne x_1 diffère légèrement de celles donnant $x_2 \ldots x_k$ est la suivante : l'appareil de transmission est astreint à se trouver au milieu du conducteur uniforme contenant le point A. Dans ce cas, ξ est mesuré depuis le point A, de telle sorte que le premier point où se trouve branché un pont (une dérivation), correspond à $\xi = \frac{l}{2k}$.

Le problème consiste à formuler ces k équations limites de manière qu'elles puissent être résolues facilement. On peut y arriver en exprimant les courants x_m et y_m en fonction du potentiel v_m à l'une des extrémités de la bobine m.

Représentons par $v_1, v_2, \dots v_k$ les potentiels à l'une des extrémités des bobines 1, 2,... k (aboutissant à l'un des côtés de la boucle), et par $v'_1, v'_2, \dots v'_k$ les potentiels à l'autre extrémité des bobines 1, 2,... k (aboutissant à l'autre côté de la boucle).

Par raison de symétrie, on a :

$$v_1 = - v'_1$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$v_k = - v'_k.$$

La force électromotrice qui s'exerce sur la ligne en A est $\mathrm{E}e^{ipt}$. Alors, par raison de symétrie et parce que l'impédance du transmetteur est supposée $= 0$, la borne du transmetteur la plus proche du point de potentiel v_1 a le potentiel $\frac{1}{2}\,\mathrm{E}e^{ipt}$.

Soit V_m le potentiel en un point quelconque entre les bobines m et $m + 1$.

V_m est de la forme :

$$\mathrm{V}_m = \mathrm{N}_1 \cos \mathrm{M}\xi + \mathrm{N}_2 \sin \mathrm{M}\xi. \tag{10}$$

Le potentiel est une fonction continue tout le long de la ligne (sauf au point A), c'est-à-dire qu'on a :

$$(\mathrm{V}_m)_{\xi = \frac{l}{k}} = v_m = (\mathrm{V}_{m+1})_{\xi = 0}$$

Nous avons maintenant pour $m = 1, 2 \dots k$

$$v_m - v_m{}^1 = \mathrm{R}_0 x_m + \mathrm{L}_0 \frac{dxm}{dt}$$

ou bien, puisque x_m est de la forme $\mathrm{A}e^{ipt}$ et par conséquent $\frac{dxm}{dt}$ de la forme $ip\mathrm{A}e^{ipt}$. nous avons :

$$x_m = \frac{2v_m}{\mathrm{R}_0 + ip\mathrm{L}_0} \quad \frac{2v_m}{z_0} \tag{11}$$

où $m = 1, \dots \mathrm{K}$.

Cette série d'équations représente les courants $x_1 \dots x_k$ comme des fonctions des potentiels $v_1 \dots v_k$. Pour représenter aussi les courants $y_1 \dots y_k$ comme des fonctions de $v_1 \dots v_k$, il faut comparer les équations (7) et (10) et considérer que :

$$\mathrm{C} \frac{d\mathrm{V}_m}{dt} = - \frac{\partial y_m}{\partial \xi}$$

Nous en tirons :

$$\frac{d\mathrm{N}_1}{dt} = - \frac{\mathrm{M}}{\mathrm{C}} \mathrm{K}^2$$

$$\frac{d\mathrm{N}_2}{dt} = \frac{\mathrm{M}}{\mathrm{C}} \mathrm{K}_1.$$

Il en résulte, d'après l'équation (10), pour $\xi = 0$ et $\xi = \frac{l}{k}$

$$v_m = \mathrm{N}_1$$

$$b_{m+1} = \mathrm{N}_1 \cos \frac{\mathrm{M}l}{k} + \mathrm{N}_2 \sin \frac{\mathrm{M}l}{k}.$$

Nous avons alors :

$$K_1 = \frac{ipC}{M \sin \frac{Ml}{k}} \left(v_{m+1} - v_m \cos \frac{Ml}{k} \right)$$

$$K_2 = - \frac{ipC}{M} v_m$$

et l'équation (7) devient :

$$y_m = \frac{ipC}{M \sin \frac{Ml}{k}} \left\{ v_{m+1} \cos M\xi - v_m \cos M \left(\frac{l}{k} - \xi \right) \right\} \qquad (12a)$$

Mais cette équation n'est exacte que pour $m = 1 \ldots (k-1)$, comme cela est évident, d'après la manière dont elle a été déduite. Pour y_0 et y_k, nous avons à développer des formules séparées. Si l'impédance de l'appareil de transmission est $= 0$, nous avons :

$$y_0 = \frac{ipC}{M \sin \frac{Ml}{2k}} \left\{ v_1 \cos M\xi - \frac{1}{2} E e^{ipt} \cos M \left(\frac{l}{2k} - \xi \right) \right\}. \qquad (12b)$$

Pour y_k, nous avons :

$$y_k = \frac{ipC \cos M \left(\frac{l}{2k} - \xi \right)}{M \sin \frac{Ml}{2k}} v_k.$$

Nous sommes maintenant prêts à écrire les équations limites, de sorte que les K valeurs $v_1, v_2 \ldots v_k$ peuvent être déterminées. Portons dans (9) les valeurs de x_m et de y_m dans (11) et (12), et introduisons l'abréviation suivante :

$$\sigma = - \frac{2M \sin \frac{Ml}{k}}{ipCz_0} - 4 \sin^2 \frac{Ml}{2k} \qquad (13)$$

ou

$$\sigma + 2 = - \frac{2M \sin \frac{Ml}{k}}{ipCz_0} + 2 \cos \frac{Ml}{k}$$

Alors la série des équations limites (9) prend la forme simple suivante :

$$(\sigma + 3) v_1 - v_2 = E e^{ipt} \cos \frac{Ml}{2k}$$
$$(\sigma + 2) v_2 - v_1 - v_3 = 0$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$(\sigma + 2) v_m - v_{m-1} - v_{m+1} = 0$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$(\sigma + 2) v_{k-1} - v_{k-2} - v_k = 0$$
$$(\sigma + 3) v_k - v_{k-1} = 0.$$

Cette série d'équations a la même forme et peut être traitée de la même façon que les équations (6) dans la partie II du mémoire de Pupin, de l'année 1900, si

$$h_0 = h_1 = 2.$$
$$h = \sigma = -4 \sin^2 \theta$$
$$D_0 = E e^{ipt} \cos \frac{Ml}{2k}$$
$$n = k$$
$$x_1, x_2, \ldots x_n = \text{respectivement } v_1, v_2, \ldots v_n.$$

Pour cette raison, la solution (7), dans le mémoire de Pupin, est aussi une solution de nos équations. Nous obtenons alors, comme solution pour la valeur v_m, l'équation suivante :

$$v_m = \frac{1}{2} \cos \frac{Ml}{2k} E e^{ipt} \frac{\sin (2k - 2m + 1)\theta}{\sin 2k\theta \cos \theta} \qquad (15)$$

Cette équation, combinée avec les équations (11) et (12), représente la solution du problème de la propagation des ondes le long d'un conducteur chargé du type de Thompson. θ et Ml sont des angles complexes, et les calculs suivants devraient avoir pour but de séparer les parties réelles et les parties imaginaires des quantités complexes. Cela est non seulement fastidieux, mais encore inutile, eu égard au but principal de cet écrit.

VI. Equivalence entre un conducteur chargé, du type Thompson, et un conducteur uniforme correspondant. — La principale des raisons pour lesquelles les formules ont été développées dans la partie qui précède, est de trouver une réponse à la question suivante : Comment faut-il disposer les bobines de dérivation sur un conducteur chargé du type Thompson pour qu'elles soient avantageuses ?

Dans le même but, le Dr Pupin compare son type de conducteur chargé, comportant des bobines d'inductance insérées en série le long de la ligne, à un conducteur uniforme correspondant qui présenterait la même résistance et la même inductance totale. Il détermine la relation qui existe entre la distance de deux bobines d'inductance successives et la longueur de l'onde transmise, relation qui doit être vérifiée si les formules pour le courant sont les mêmes dans les deux conducteurs. Si cette solution, qui a été établie dans le chapitre IV, est satisfaite, le conducteur non uniforme est équivalent au conducteur uniforme qui lui correspond. En d'autres termes, le Dr Pupin démontre que, si son conducteur chargé était remplacé par un conducteur uniforme ayant la même résistance et la même inductance totale que le conducteur chargé (c'est-à-dire présentant une inductance plus grande que le conducteur initial uniforme et non chargé), les équations subsisteraient. En d'autres termes, des bobines d'inductance placées en série le long de la ligne, à intervalles égaux, suivant la règle de Pupin, produisent le même effet qu'une augmentation uniforme de l'inductance le long de la ligne ; et puisque ce dernier dispositif diminuerait l'atténuation et la distorsion, le conducteur chargé du type Pupin produit le même effet.

Si nous considérons maintenant, au même point de vue, le conducteur chargé du type Thompson, nous rencontrons tout de suite une difficulté. Si nous voulons comparer un conducteur chargé du type Thompson à un « conducteur uniforme correspondant », nous devons d'abord définir ce « conducteur uniforme correspondant ». A l'égard du conducteur de Pupin, cette définition est évidente ; mais ce n'est plus le cas lorsqu'il s'agit du conducteur de Thompson. On peut toutefois vaincre cette difficulté et tirer directement de nos équations une définition satisfaisante du « conducteur uniforme », qui corresponde au conducteur chargé du type Thompson, par le procédé suivant, qui est analogue à celui du Dr Pupin.

Considérons l'équation (13) qui détermine θ

$$\sigma = -4\sin^2\theta = -\frac{2M\sin\frac{Ml}{k}}{ipCz_0} - 4\sin^2\frac{Ml}{2k}.$$

Si $M = a + i\beta$ où $a > \beta$, la longueur des ondes qui se propagent le long du fil non chargé uniforme est $\lambda = \frac{2\pi}{\lambda}$ et la distance angulaire ω entre deux bobines consécutives pour la longueur d'onde α, est :

$$\omega = \frac{l}{k}\frac{2\pi}{\lambda} = \frac{l}{k}\alpha .$$

Si maintenant sin ω est presque égal à ω, l'équation précédente devient :

$$-4\sin^2\theta = -\frac{l^2M^2}{k^2}\left(1 + \frac{2}{ipCz_0}\frac{k}{l}\right) = -\frac{l^2M_1^2}{k^2}$$

équation dans laquelle nous avons introduit l'abréviation

$$M_1^2 = M^2\left(1 + \frac{2}{ipz_0}\frac{k}{l}\right)$$



Nous obtenons

$$\sin\theta = \frac{1}{2}\frac{l}{k}M_1.$$

Le symbole M_1 n'est pas seulement une abréviation, mais il a une certaine signification physique qui a de l'importance dans le cas dont nous nous occupons et que nous allons développer. Si dans l'équation qui donne M_1^2, nous introduisons les valeurs de M^2 et de z_0, nous obtenons

$$-M_1^2 = C(-p^2L_1 + ipR_1)$$

dans laquelle

$$L_1 = L - \frac{2k}{p^2Cl}\frac{p^2L_0L + R_0R}{p^2L_0^2 + R_0^2} \qquad (16)$$

$$R_1 = R - \frac{2k}{Cl}\frac{L_0R - LR_0}{p^2L_0^2 + R_0^2}. \qquad (17)$$

Nous pouvons maintenant imaginer une ligne uniforme idéale, dont l'inductance et la résistance par unité de longueur sont données par les équations (16) et (17) : nous appellerons cette ligne la « ligne uniforme correspondante ». Je vais justifier cette dénomination en montrant que le conducteur chargé, du type Thompson, est en effet équivalent à une ligne uniforme caractérisée par les constantes L_1 et R_1.

Si $$M_1 = \alpha_1 + i\beta_1, \quad \text{on a} \quad \alpha_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1}$$

où λ_1 est la longueur d'onde pour la fréquence $\frac{p}{2\pi}$, dans le « conducteur uniforme correspondant » que nous venons de définir. Si la longueur λ_1 est égale à 2π, la distance angulaire entre deux bobines consécutives est :

$$\omega_1 = \frac{l}{k}\frac{2\pi}{\lambda_1} = \frac{l}{k}\alpha_1.$$

Si nous supposons $\frac{1}{2}\omega_1$ assez petit pour que l'on ait sensiblement $\sin\frac{1}{2}\omega_1 = \frac{1}{2}\omega_1$, et $\frac{l}{2k}\beta_1$ assez petit pour que l'on ait

$$e^{\frac{l}{2k}\beta_1} = 1 + \frac{l}{2k}\beta_1,$$

nous obtenons :

$$\theta = \frac{1}{2}\frac{l}{k}M_1$$

et notre équation (15) pour un conducteur chargé du type Thompson, devient identique à l'équation analogue pour notre conducteur uniforme correspondant, équation qui peut être déduite aisément des équations de la IIIe partie, en faisant $M = M_1$ et $\xi = \frac{l}{2k}(2k - 2m + 1)$.

$$v_m = \frac{1}{2}Ee^{ipt}\frac{\sin\frac{M_1 l}{2k}(2k - 2m + 1)}{\sin M_1 l}$$

Dans la démonstration précédente de cette équivalence, nous avons fait deux hypothèses correspondant à deux cas qui peuvent se présenter tous deux. Quand $\alpha_1 > \beta_1$, il faut satisfaire a $\sin\frac{1}{2}\omega_1 = \frac{1}{2}\omega_1$, et, par conséquent, on a approximativement :

$$e^{\frac{l}{2k}\beta_1} = 1 + \frac{l}{2k}\beta_1$$

Quand $\alpha_1 < \beta_1$, il faut satisfaire à

$$e^{\frac{l}{3k}\beta_1} = 1 + \frac{l}{2k}\beta_1$$

et il en résulte, approximativement [1] :

$$\sin \frac{1}{2}\omega_1 = \frac{1}{2}\omega_1.$$

La première de ces équations peut être interprétée comme suit : le conducteur chargé du type Thompson est équivalent au conducteur uniforme correspondant, caractérisé par les équations (16) et (17), tant que le sinus de la $\frac{1}{2}$ distance angulaire entre deux bobines de dérivation consécutives est approximativement égal à la $\frac{1}{2}$ distance angulaire elle-même. Cette règle est littéralement la même que celle de Pupin pour un conducteur chargé du type Pupin, mais il ne faut pas oublier qu'il existe une différence essentielle entre les deux cas, puisque le « conducteur uniforme correspondant » est défini d'une manière tout à fait différente dans ces deux cas.

Nous allons parler d'une autre différence importante. Dans le cas d'un conducteur chargé du type Pupin, le « conducteur uniforme correspondant » a nécessairement une résistance et une inductance plus grandes par unité de longueur de la ligne que le conducteur non chargé, avant l'introduction des bobines. L'augmentation d'inductance par unité de longueur est un avantage et constitue le but essentiel de tout le dispositif. L'augmentation de résistance par unité de longueur est un inconvénient qu'on ne peut pas éviter.

Le problème que doit alors se proposer celui qui calcule une ligne du type Pupin est de ne pas augmenter plus qu'il ne faut la résistance de la ligne, lorsqu'il en augmente l'inductance (on ne peut éviter d'augmenter un peu la résistance).

Dans le cas d'un conducteur chargé du type Thompson, nous voyons, d'après l'équation (6), que l'inductance par unité de longueur du « conducteur uniforme correspondant » est nécessairement plus petite que l'inductance par unité de longueur du conducteur non chargé initial ; c'est là un inconvénient du dispositif ; mais il peut en résulter aussi un avantage, qui se déduit de l'équation (17), c'est-à-dire qu'on peut à volonté rendre la résistance par unité de longueur du « conducteur uniforme correspondant » plus petite que celle du conducteur initial non chargé ; et cette diminution de résistance du « conducteur uniforme correspondant » est, pour la transmission des ondes, un avantage aussi grand que l'augmentation de l'inductance dans le conducteur de Pupin. Nous avons, dans ce cas, la règle importante qui résulte directement de l'équation (17) et qui est la suivante : Pour que le dispositif de Thompson perfectionne la transmission des ondes, il faut que R_1 soit nécessairement $<$ R, c'est-à-dire que

$$\frac{L}{R} < \frac{L_0}{R_0}. \qquad (18)$$

Plus la différence entre les deux rapports est grande, plus la résistance par unité de longueur du conducteur uniforme correspondant est petite.

Il est évident qu'on peut satisfaire aisément à la condition (18). Le rapport $\frac{L}{R}$ est toujours très petit en pratique (c'est là précisément l'inconvénient des lignes uniformes ordinaires à grandes distances). Il est facile de construire, dans ce but, des bobines d'inductance L_0 et de résistance R_0 satisfaisant à la condition (18). Celui qui calcule la ligne doit procéder de la manière suivante. On

---

(1) La raison pour laquelle nous avons ici deux conditions est que β_1 doit devenir $> \alpha_1$, parce que L_1 doit devenir < 0 comme on peut le voir sur l'équation (16). Ceci est toujours le cas lorsque L, c'est-à-dire l'inductance par unité de longueur du conducteur uniforme non chargé, est égale à o. Avec le dispositif Pupin, on a toujours $\alpha_1 > \beta_1$.

suppose comme base du calcul une certaine valeur de β_1, par exemple 0,015 (en milles $^{-1}$) (comme dans le mémoire de 1900 de Pupin, Ire partie). Dans ce cas, si la ligne de transmission a une longueur de 250 milles, 2 1/2 p. 100 du courant sortant du transmetteur arriveront à l'extrémité où se trouve le récepteur. Nous avons maintenant

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2} pC[\sqrt{p^2L^2 + R^2} - pL]}$$

p, c, β sont connus. Nous tirons alors de cette équation une certaine valeur pour

$$\sqrt{p^2L^2 + R^2} - pL,$$

expression dans laquelle L et R sont l'inductance et la résistance par unité de longueur du conducteur uniforme correspondant.

L'expression

$$\sqrt{p^2L^2 + R^2} - pL = pL\left[\sqrt{1 + \frac{R^2}{p^2L^2}} - 1\right] \quad (20)$$

doit être plus petite, avec les valeurs de R et L du « conducteur uniforme correspondant », que la même expression pour R et L représentant les quantités correspondantes dans le conducteur initial non chargé. C'est là ce qu'on désire.

La différence entre les systèmes Pupin et Thompson montre clairement comment on arrive à ce but. Dans le système Pupin, L et R sont augmentés, alors qu'ils sont diminués dans le système Thompson. Dans les deux cas, il en résulte que la valeur de l'expression (20) est diminuée, en comparaison de ce qu'elle est pour la ligne initiale non chargée.

J'ai donc prouvé qu'un conducteur chargé du type de Thompson se comporte jusqu'à un certain point comme un conducteur chargé du type Pupin.

Il existe naturellement des différences essentielles entre les deux systèmes ; mais, grâce à des dispositions particulières, chacun de ces systèmes peut être employé avantageusement pour la télégraphie et la téléphonie à grandes distances.

Dans un prochain article, je donnerai la théorie mathématique du système de Reed et je prouverai d'abord que ce système peut être regardé, au point de vue mathématique, comme un système général comportant le système de Pupin et le système de Thompson comme cas particuliers.

E.F. Roeber.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Machines Gasnier à courants polyphasés.
Brevet français n° 306 623, du 27 décembre 1900.

Ces machines sont synchrones comme moteurs ou comme génératrices. Les génératrices sont auto-excitatrices sans collecteurs, condensateurs ou organes accessoires modifiant la phase ou changeant la forme des courants.

Elles sont construites comme des moteurs asynchrones ordinaires. Les enroulements polyphasés sont placés sur deux cylindres concentriques, identiques comme nombre de pôles et de phases. La partie mobile est munie de bagues et de frotteurs.

Les enroulements des deux pièces sont montés entre eux en tension (fig. 1), ou en dérivation (fig. 2), ou en combinant ces deux modes de montage, de manière à avoir, sur l'une des deux pièces ou sur chacune, deux enroulements, l'un en série, l'autre en dérivation.

On pourra aussi compenser la réaction électromagnétique de l'une des pièces sur l'autre par un enroulement disposé sur cette dernière

et agissant en sens inverse de la première. Les deux champs tournent à la même vitesse

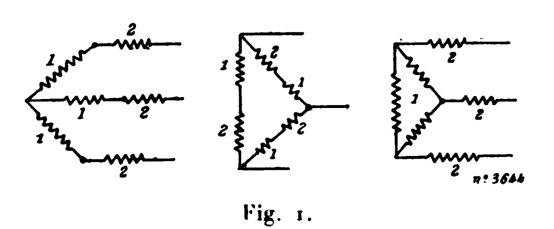


Fig. 1.

en sens inverse. On lance la partie mobile à une vitesse double de la vitesse du champ tournant et dans le même sens que le champ de la partie fixe. Il y a alors accrochage puisque les deux champs tournent alors à la même vitesse dans le même sens. Le couple moteur sera proportionnel aux valeurs des deux champs et au sinus de l'angle de décalage entre les deux. Si la machine est soumise à un couple résistant extérieur, le champ de la partie mobile sera par rapport au mouvement décalé en arrière, c'est-à-dire en retard sur le champ de la partie fixe; dans ce cas, la machine absorbe du courant. Si, au contraire, la partie mobile est soumise à un couple moteur, son champ est en avant et la machine est génératrice.

L'amorçage automatique comme génératrice

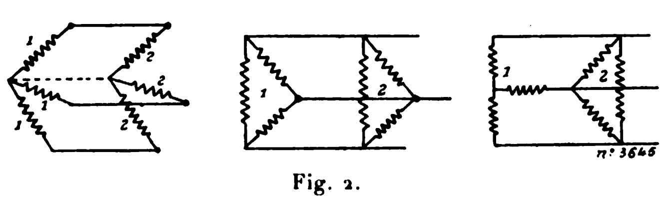


Fig. 2.

est obtenu à l'aide d'un inducteur auxiliaire formé par des aimants permanents ou par des électro-aimants à courant continu. Il produit des courants induits dans un bobinage auxiliaire, monté en tension avec l'enroulement de l'une des deux parties de la machine, et pouvant se confondre avec cet enroulement. L'action de ces courants s'ajoute à celle déjà produite par l'inducteur auxiliaire, pour augmenter les forces électro-motrices induites pendant la mise en marche.

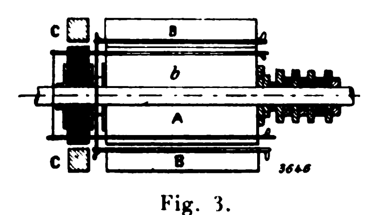


Fig. 3.

La figure 3 représente un des dispositifs employés; A et B sont les deux pièces en tôles feuilletées; C l'inducteur auxiliaire analogue à l'inducteur d'une machine à courant continu ou alternatif; il comprend 2 *n* pôles. Le noyau *b* ainsi que B portent des enroulements polyphasés à 4*n* pôles. Le noyau *c* porte des enroulements à 2*n* pôles montés en tension avec l'enroulement de *b*, suivant l'une des dispositions de la figure 1. Les bobinages de *b* et *c* peuvent être confondus, de manière à constituer un même enroulement, comme l'indique la figure 4 dans le cas du diphasé.

Si on fait tourner A à une vitesse quelconque, l'inducteur auxiliaire C à 2*n* pôles induit dans

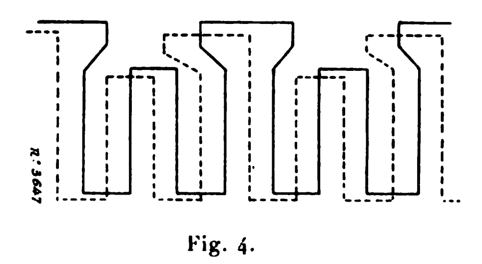


Fig. 4.

l'enroulement *c* à 2*n* pôles des courants, qui produisent dans *b* un champ tournant par rapport à A moitié moins vite en sens inverse, ce qui lui fait par rapport à B fixe une vitesse dans le sens et moitié de A; d'où production dans les circuits de B à 4*n* pôles de courants induits de même fréquence que ceux produits par l'inducteur auxiliaire sur l'enroulement *c*. Il en est de même pour les circuits de *b* soumis à l'action du champ B tournant à la même vitesse que celui de *b*.

La machine marchant en génératrice, le champ de *b* sera décalé en avant de celui de B. On réalisera le calage des champs B et *b* le plus convenable pour l'amorçage et la marche de la machine, en agissant sur l'orientation par rap-

port à B de l'inducteur C. On pourra monter C de façon à pouvoir le déplacer par rapport à B.

On peut renverser le dispositif de la figure, et mettre l'inducteur auxiliaire sur la partie mobile.

Une autre combinaison est celle de la figure 5.

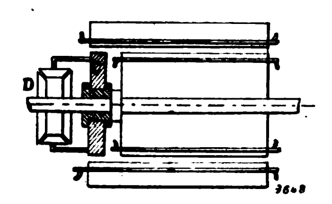


Fig. 5.

Les pièces principales B et *b* portent des enroulements à $2n$ pôles. L'inducteur auxiliaire C est à $2n$ pôles et tourne dans le même sens à une vitesse moitié moindre. Ceci est obtenu par l'emploi d'un système d'engrenages différentiels D dont la roue de gauche est fixe, la roue de droite calée sur l'arbre de *b* et les arbres des pignons satellites fous sur C, qui est lui-même fou sur l'arbre de *b*.

C et *b* agissent tous deux sur l'enroulement de B, de telle manière que *b*, alimenté par les courants de B, produise un champ à $2n$ pôles tournant dans le même sens et à la même vitesse que C. L'inducteur C est orienté par rapport à *b* de manière que son champ et celui de *b* soient en concordance et ajoutent leurs actions. Pour orienter C, on peut agir sur la roue dentée fixe du différentiel D.

On peut aussi faire agir C sur *b* au lieu de B, sans rien changer au fonctionnement.

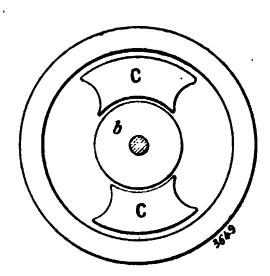


Fig. 6.

Une autre solution (fig. 6) comporte des noyaux C reliant magnétiquement la pièce fixe B à la pièce mobile *b* et tournant moitié moins vite que *b*, de manière à suivre les champs tournants B et *b* dans leur mouvement. L'aimantation des noyaux C sera ainsi toujours de même sens et leur magnétisme rémanent produira l'amorçage.

Les moteurs ne sont pas munis des ces inducteurs auxiliaires. Mais il faut les lancer pour obtenir l'accrochage. On transformera momentanément le moteur à $4n$ pôles en un moteur à $2n$ pôles, par groupements de circuits.

On pourra encore substituer à l'inducteur auxiliaire un induit de moteur asynchrone fermé sur lui-même ou sur des résistances. La machine prendra sous l'action de cet induit une vitesse suffisamment voisine du synchronisme pour que l'accrochage se produise.

Si on veut changer la tension du courant alimentant l'une des parties de la machine, on peut relier les circuits des différents enroulements par l'intermédiaire d'un transformateur. Mais l'auto-excitation a lieu sans l'emploi de transformateurs.

A. Nunès.

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

Perfectionnements aux appareils employés en télégraphie sans fil, par **G. Marconi** et **The Wireless and Telegraph Signal C° Ld**. Brevet anglais n° 12 326 du 1er juin 1898, accepté le 1er juillet 1899.

Les perfectionnements relatés dans ce brevet ont trait aux relations de l'antenne avec le tube à limaille.

Au lieu de relier le fil qui vient de l'antenne *a* (fig. 1) à l'une des bornes du cohéreur, l'autre

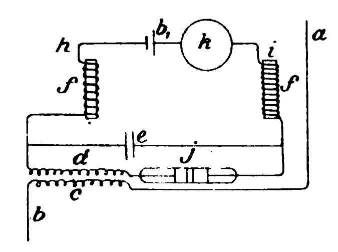


Fig. 1. — Système Marconi. Perfectionnement aux relations de l'antenne avec le cohéreur. Premier dispositif.

borne étant mise à la terre, le circuit qui comprend le cohéreur est complètement isolé du circuit qui comprend l'antenne. — L'antenne *a* est reliée à l'une des extrémités du primaire *c* d'un transformateur, l'autre extrémité du primaire est mise en communication avec la terre

par le fil *b*. Le secondaire *d* de ce transformateur est compris dans le circuit du cohéreur *j*. Ce circuit *h* comprend, le cohéreur *j*, le secondaire *d* du transformateur, une bobine étouffoir *f*, un élément de pile b_1, un relais *k* et une seconde bobine étouffoir *f*. Placé en dérivation sur ce circuit se trouve un condensateur *e* qui est relié d'une part à l'extrémité du secondaire *d* du transformateur, d'autre part à l'un des pôles du cohéreur *j*.

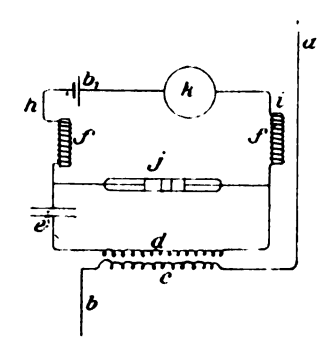


Fig. 2. — Système Marconi. Perfectionnement aux relations de l'antenne avec le cohéreur. Second dispositif.

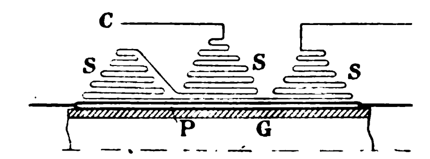


Fig. 3. — Transformateur Marconi. Premier dispositif d'enroulement.

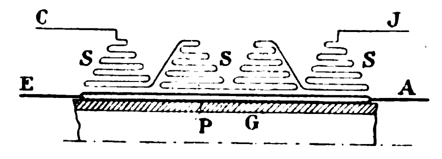


Fig. 4. — Transformateur Marconi. Deuxième dispositif d'enroulement.

La figure 2 indique un dispositif analogue dans lequel les connexions sont un peu différentes. Le primaire *c* du transformateur est encore relié d'une part à l'antenne *a*, d'autre part à la terre *b*. Mais le cohéreur *j* et le condensateur *e* ont permuté leurs positions par rapport au circuit comprenant le relais *k* et le secondaire *d* du transformateur. L'une des armatures du condensateur employé est formée de trois feuilles rectangulaires de cuivre de 3,75 cm de longueur sur 2,5 cm de largeur. L'autre armature comprend deux feuilles de mêmes dimensions. Les armatures sont séparées par du papier paraffiné de 0,015 cm d'épaisseur.

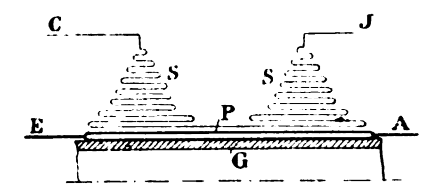


Fig. 5. — Transformateur Marconi. Troisième dispositif d'enroulement.

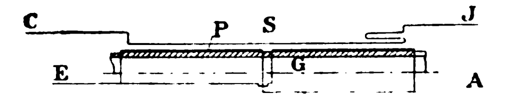


Fig. 6. — Transformateur Marconi. Quatrième dispositif d'enroulement.

L'antenne utilisée avec ces dispositifs est formée d'un fil de cuivre de 1 mm de diamètre, de 140 pieds (42,67 m) de long et dont l'extrémité est à 100 pieds (30,48 m) du sol. Ce fil de cuivre pouvait être remplacé par un treillis de fil de fer galvanisé formant une bande de 2 pieds (60 cm) de largeur, 130 pieds (39,62 m) de longueur et dont l'extrémité était à 110 pieds (33,52 m) du sol.

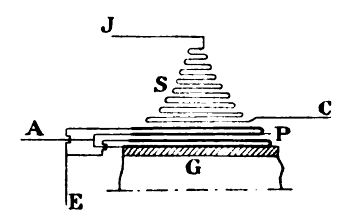


Fig. 7. — Transformateur Marconi. Cinquième dispositif d'enroulement.

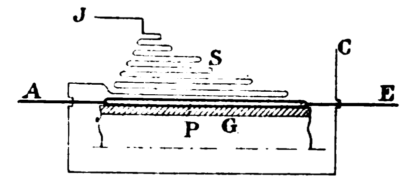


Fig. 8. — Transformateur Marconi. Sixième dispositif d'enroulement.

Les figures 3 à 10 sont une représentation schématique des enroulements différents du primaire P et du secondaire S des transformateurs utilisés. Dans le dessin le fil secondaire est représenté par un trait plus fin que celui qui représente le fil primaire; en réalité ces deux enroulements sont formés de fil de même diamètre. Le secondaire est formé de un ou de plusieurs enroulements connectés entre eux comme l'indiquent les schémas des figures 3 à 10. Le nombre des spires de chaque enroulement diminue à mesure qu'on s'éloigne du noyau du transformateur. A représente l'extrémité de l'enroulement primaire mis en relation avec l'antenne, E, l'extrémité reliée au sol. J est l'extrémité de l'enroulement secondaire réuni à l'un des pôles du cohéreur, C, la seconde extrémité de l'enroulement secondaire qui est reliée au condensateur. G est un tube de verre qui supporte les enroulements.

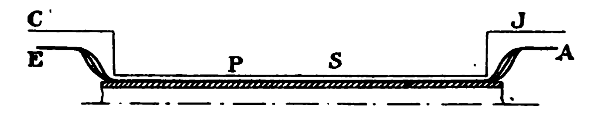


Fig. 9. — Transformateur Marconi. Septième dispositif d'enroulement.

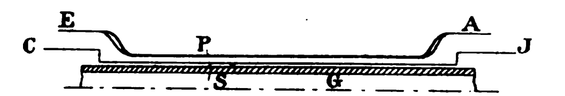


Fig. 10. — Transformateur Marconi. Huitième dispositif d'enroulement.

Perfectionnements aux appareils employés en télégraphie sans fil, par **G. Marconi** et **The Wireless and Telegraph Signal C° Ld.** Brevet anglais n° 6 983 du 1er avril 1899, accepté le 3 mars 1900.

Ce brevet est la répétition textuelle d'une partie du précédent, en particulier de celle relatant les dimensions à donner aux diverses formes d'enroulements.

Perfectionnements aux appareils employés en télégraphie sans fil, par **G. Marconi** et **The Wireless and Telegraph Signal C° Ld.** Brevet anglais n° 25 186 du 19 décembre 1899, accepté le 19 décembre 1900

Les perfectionnements décrits constituent une variante de ceux dont les deux brevets précédents sont l'objet.

La figure 1 représente les connexions. L'antenne A est reliée à l'une des extrémités de l'enroulement primaire j_1 d'un transformateur, l'autre extrémité est reliée à la terre E. Le cohéreur T a ses pôles respectivement reliés aux deux extrémités de l'enroulement secondaire j_2 du transformateur. Cet enroulement secondaire est partagé en deux parties, en deux enroulements partiels dont les extrémités libres sont reliées aux deux armatures d'un condensateur j_3. Ces armatures sont reliées d'autre part par l'intermédiaire de bobines étouffoirs c_1, c_2, à l'élément de pile B et au relais R.

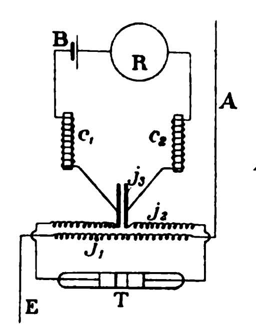


Fig. 1. — Système Marconi. Relations de l'antenne et du cohéreur. Variante des dispositifs précédents.

Les figures 2 et 3 représentent des schémas des enroulements du transformateur utilisé avec le dispositif ci-dessus.

Le tube de verre j (fig. 2) sur lequel sont enroulés les fils à 6 cm de diamètre. Le primaire comprend 100 spires de fil de cuivre isolé à la soie de 0,037 cm de diamètre, recouvertes d'une couche de paraffine. Le secondaire j_2 est formé d'un fil de cuivre de 0,019 cm de diamètre dont l'enroulement commence au milieu du tube, dans le même sens que l'enroulement primaire. Chaque moitié du secondaire comprend 17 couches dont les nombres de spires sont : 77-49-46-43-40-37-34-31-28-25-22-19-16-13-10-7 et 3.

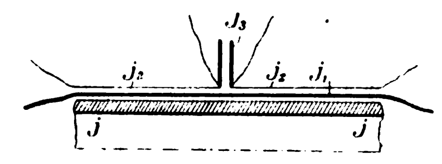


Fig. 2. — Transformateur Marconi. Enroulement secondaire formé de deux portions séparées. Premier dispositif.

Le transformateur représenté par le schéma

de la figure 3 est formé d'un tube de verre *j* de 2,5 cm de diamètre comme noyau, sur lequel le primaire est enroulé en 50 tours d'un fil de cuivre de 0,07 cm de diamètre. Le secondaire est formé d'un fil de 0,005 de diamètre, qui est

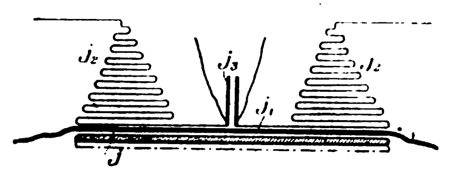


Fig. 3. — Transformateur Marconi. Enroulement secondaire formé de deux portions séparées. Second dispositif.

enroulé dans le même sens que le primaire. Chaque moitié de l'enroulement comprend 160 spires formant une seule couche. L'emploi de ces transformateurs donne les meilleurs résultats quand la longueur du conducteur aérien à chaque station atteint 150 pieds (45,72 m).

Perfectionnements aux appareils employés en télégraphie sans fil, par **G. Marconi**. Brevet anglais n° 5657, du 15 mars 1899, accepté le 17 février 1900.

Dans le brevet n° 12039 de 1896 est décrit un arrangement d'après lequel le transmetteur consiste en un excitateur dont une des boules est en communication avec l'antenne et dont l'autre boule est mise à la terre. Le récepteur contient un cohéreur dont une extrémité communique avec l'antenne et l'autre avec la terre.

On sait que le conducteur aérien peut être parfois chargé d'électricité d'origine atmosphérique et, lorsqu'on emploie le même conducteur pour la réception et pour la transmission, les décharges atmosphériques peuvent se produire à travers le corps de l'opérateur quand il met le conducteur aérien du transmetteur sur le récepteur.

L'objet de l'invention actuelle est de prévenir cet inconvénient.

L'antenne est reliée d'une manière permanente à une des boules de l'excitateur *e* (fig. 1). Par suite, si on emploie pour produire les ondes une bobine de Ruhmkorff ou un transformateur, le conducteur aérien se trouve relié à la terre à travers la bobine. Les ondes électriques venant du transmetteur de la station voisine ne peuvent traverser les spires de la bobine et vont à la terre à travers le récepteur lorsque le fil aérien est connecté avec elle. On sait aussi qu'il est avantageux d'intercaler une bobine d'impédance *d* entre les extrémités de la bobine d'induction employée pour l'émission et la sphère qui est connectée avec l'antenne

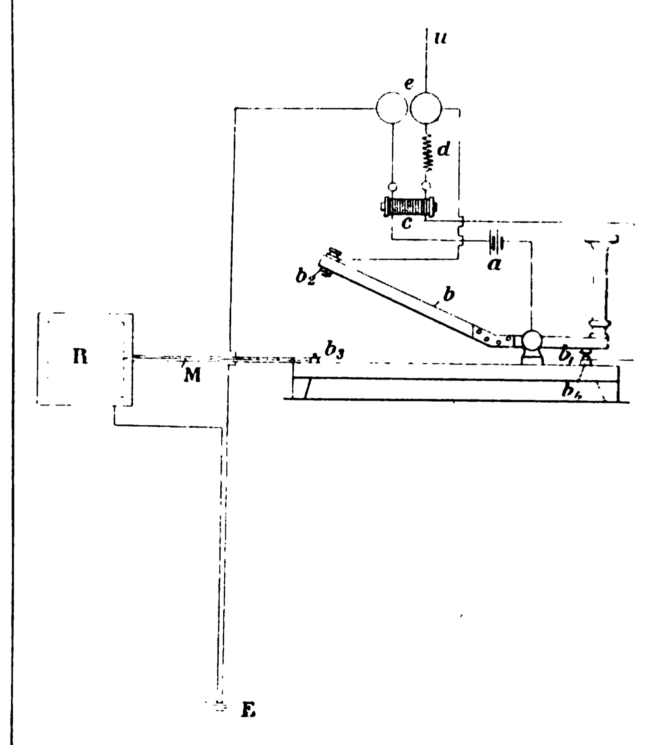


Fig. 1. — Système Marconi. Dispositif de protection contre les décharges atmosphériques.

Les signaux sont envoyés au moyen d'une clef de Morse fermant le courant d'une batterie locale à travers le primaire d'une bobine d'induction ou d'un transformateur.

Dans le dispositif actuel le levier formant la clef est prolongé et porte une terminaison isolée qui est en communication constante avec la sphère de l'excitateur et par suite avec l'antenne. Cette terminaison repose sur une pièce métallique en communication avec le récepteur. De cette manière, lorsque le manipulateur revient à sa position de repos, il met en communication l'antenne et le récepteur. Le fil reliant le récepteur à la clef Morse doit être de préférence enfermé dans un tube de métal, de manière à être protégé contre les effets du transmetteur local.

Cette disposition est applicable si on remplace la terre par une capacité aérienne. Elle l'est aussi

pour les récepteurs contenant une bobine d'induction, pour celui décrit dans le brevet n° 12 326, de 1898. Le moyen employé pour protéger le récepteur est préférable à celui décrit dans le brevet n° 12 325.

Ci-joint un dessin (fig. 1) représentant un récepteur et un manipulateur arrangé suivant la description ci-dessus.

a est une batterie, *b* une clef Morse ordinaire fermant le circuit à travers le primaire de la bobine *c*. Les extrémités du secondaire sont reliées aux deux sphères de l'excitateur *e*.

L'antenne *u* est reliée à l'une des sphères *e*, l'autre sphère est reliée à la terre.

La clef *b* a deux contacts b_1, b_2 isolés l'un de l'autre.

La figure montre la clef dans la position voulue pour envoyer des ondes. b_1 en touchant b_4 ferme le circuit de *a* à travers le primaire de *c*. Lorsque la clef est abandonnée à son propre poids, son long bras en tombant réunit b_2 et b_3 qui est relié au récepteur par le fil M.

L'espace existant entre b_2 et b_3 doit être large pour prévenir la production d'étincelles entre ces deux contacts.

Il est avantageux d'intercaler une bobine d'impédance *d* entre la sphère *e* et la bobine *c*.

DIVERS

Variation du pouvoir inducteur avec la température et la pression, par J. Kœnigsberger. *Dr. Ann.*, t. V, p. 123-151, mai 1901.

La formule donnée par l'auteur pour exprimer la loi de cette variation diffère notablement de celles qu'ont proposées J.-J. Thomson, Drude, Duhem. La cause de cette divergence paraît être que ces derniers négligent dans le calcul de l'énergie un terme dont l'importance devient très appréciable quand le pouvoir inducteur (ou la perméabilité magnétique) devient grand.

Pour déterminer la loi de variation, on considère le cycle de transformations suivant : Un diélectrique, supposé parfaitement isolant, est introduit dans un champ électrique. L'énergie cinétique éprouve une augmentation K_1, l'énergie électrique une diminution E_1; les autres formes d'énergie (la chaleur de Thomson, etc.), une variation — W_1.

Ensuite, un des paramètres *p* définissant l'état de la substance subit une variation, qui nécessite une dépense d'énergie P'. Cette variation provoque un changement du pouvoir inducteur et du volume, et par suite une variation E' de de l'énergie électrique. On fait sortir le diélectrique du champ : l'énergie cinétique perd K_2, l'énergie électrique gagne E_2, les autres formes d'énergie subissent une variation $+ W_2$. Enfin on ramène le paramètre *p* à sa valeur initiale, moyennant une dépense d'énergie — P.

D'après les définitions fondamentales de l'électrostatique, l'énergie cinétique et l'énergie électrique sont constamment égales et de signes contraires. D'autre part, si tous les conducteurs du champ sont isolés, les charges demeurent invariables, l'état final du champ est identique à l'état initial et le système n'a pas reçu d'énergie électrique de l'extérieur.

Il ne reste donc comme non compensée que la variation d'énergie électrique E' pendant la variation du paramètre *p*, plus les différences $P' - P$ et $W_2 - W_1$. Or si $E_1 = E_2$ on a aussi $W_1 = W_2$ et il est très probable que W est toujours plus petit que E, et que par suite

$$W_2 - W_1 < E_2 - E_1 \text{ ou } E'$$

Le principe de la conservation de l'énergie exige que :

$$E' + W_2 - W_1 = 0$$

si on admet que l'électrisation et la variation de *p* sont indépendantes l'une de l'autre. Cette équation ne peut être satisfaite que si E' est nul par lui-même. La condition à exprimer en fonction du pouvoir inducteur et des autres variables est donc $E' = 0$.

Supposons qu'une lame diélectrique soit placée entre les armatures (de très grande surface) d'un condensateur. Soit S la surface des armatures, a'_1 l'épaisseur du diélectrique, V'_1 son volume et ε_1 son pouvoir inducteur.

En toute rigueur, une variation de volume d'un diélectrique solide entraîne une variation simultanée de la surface et de l'épaisseur; on négligera cette variation de la surface. Lorsqu'on fait varier le paramètre *p*, on provoque, en général, une variation du volume et du pouvoir inducteur. En écrivant que la variation correspondante de l'énergie E' est nulle, on trouve :

$$\frac{V'_1(\varepsilon_1 - 1)}{\varepsilon_1} = \frac{V'_2(\varepsilon_2 - 1)}{\varepsilon_2} . \qquad (1)$$

On arriverait à une équation de même forme pour la perméabilité magnétique μ, en considérant le système magnétique formé par un aimant permanent en forme de tore de grandes dimensions.

De l'équation (1) on déduit, en désignant par V' le volume spécifique du diélectrique et par ε son pouvoir inducteur :

$$\frac{dV'}{dp}(\varepsilon - 1) = -\frac{V'}{\varepsilon}\frac{d\varepsilon}{dp}.$$

Si le diélectrique est formé d'un mélange de plusieurs substances, la loi du mélange sera indépendante de l'intensité du champ si :

$$\sum_1^n \frac{V_n(\varepsilon_n - 1)}{\varepsilon_n} = \frac{V'(\varepsilon' - 1)}{\varepsilon'}$$

V' et ε' se rapportant au mélange.

Cette formule se ramène à celle de Drude, quand on suppose :

$$V'(\varepsilon' - 1) = \text{const.}$$

Pour calculer la chaleur de Thomson sans s'astreindre à supposer la chaleur spécifique constante, il est commode de se servir des équations thermodynamiques de Kirchhoff et Helmholtz :

$$dW = P dp$$

$$dQ = X dx + c_x dT.$$

Dans le cas actuel :

$$P = x \qquad P dp = dE.$$

On retrouve l'équation de Drude :

$$dQ = T.R dR.\frac{dV'\frac{\varepsilon - 1}{4\pi}}{dT}$$

où le produit $R\varepsilon$ est égal à la polarisation diélectrique D.

Le même calcul permet de déterminer la variation de la chaleur spécifique sous l'influence du champ électrique ou du champ magnétique :

$$\frac{dc}{de} = \frac{Te.4\pi}{S^2}\frac{d^2}{dT^2}\left(V'\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}\right)$$

e représentant la différence de potentiel entre les armatures du condensateur.

En général, le coefficient de dilatation et le pouvoir inducteur sont des fonctions linéaires de la température, l'équation ci-dessus prend alors la forme plus simple :

$$\frac{dc}{de} = T\frac{4\pi e}{S^2}\left(\varepsilon\frac{dV'}{dT} - V'\frac{d\varepsilon}{dT}\right)\frac{2}{\varepsilon^3}\frac{d\varepsilon}{dT}.$$

S'il s'agit du fer, par exemple, où la variation de ε ou μ avec la température est beaucoup plus forte que celle du volume, on obtient en définitive, en posant de nouveau : $D = -\frac{4\pi e}{S}$.

$$c_D - c_0 = -\frac{TD^2}{4\pi}\left(\frac{d\varepsilon}{dT}\right)^2\frac{1}{\varepsilon^3}.$$

Si ε (ou μ) diminue quand la température augmente, la chaleur spécifique est plus grande dans le champ magnétique qu'en dehors du champ (loi de Stefan).

La formule de Lorenz

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}V' = \text{const.}$$

ne correspond pas à une valeur nulle de E' dès que ε (ou μ) diffère beaucoup de 1 : la valeur de E' dépend alors du signe de $\frac{dV'}{dp}$: $\frac{dE'}{dp}$ est toujours positif si $\frac{dV'}{dp}$ est positif.

Or la formule de Lorenz représente mieux que la formule (1) dans la plupart des cas les expériences effectuées sur la variation du pouvoir inducteur ou de l'indice de réfraction avec la température ou la pression. Il faut en conclure que dans les corps solides ou liquides, la dépense d'énergie nécessitée par la variation d'un paramètre se fait sous une forme différente dans le champ électrique (ou magnétique pour le fer, le nickel, etc.) et à l'extérieur du champ. Pendant l'électrisation de ces substances, il doit donc se produire les phénomènes de l'électrostriction, de dégagement de chaleur Thomson, etc.

M. L.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXVIII. Samedi 14 Septembre 1901. 8e Année. — N° 37

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

APPAREILS DE MESURES

INDICATEURS DE MAXIMUM

Dans ces derniers temps, la mode était aux compteurs à prépaiement, nous en avons examiné, ici même, un assez grand nombre; aujourd'hui la vogue a changé : ce sont les indicateurs de maximum et tous les dispositifs destinés à l'application des tarifs variables, qui ont les honneurs des brevets; pour moins d'une année et pour un seul pays, nous allons avoir à en examiner une série de sept.

Pour indiquer le maximum de puissance enregistré par un compteur moteur, John H. Barker et James A. Ewing [1], mesurent le couple moteur à l'aide de la réaction exercée par l'organe mobile du frein sur la partie fixe. Dans les compteurs à frein magnétique, par exemple, ils montent les deux aimants B (fig. 1 à 3), sur un pont C, lequel tourne sur un axe D pivotant entre la crapaudine C_2 et la potence F; un ressort J réduit l'amplitude du mouvement des aimants. L'axe D entraîne un levier H qui appuie sur l'index L, l'oblige à dévier et à indiquer, sur un cadran divisé K, le couple exercé à chaque instant par le disque sur les aimants.

Pour faire de cette disposition un indicateur de maximum, il suffit de placer un système de déclic qui s'oppose au retour des aimants à leur position initiale, une fois que le couple moteur a cessé ou a diminué. Ce déclic, placé à gauche du pont, est constitué par un léger cliquet M, articulé sur une projection C_5 du pont, et par une vis à filet très fin M_1, sur laquelle vient frotter l'extrémité du cliquet. Il est facile de voir que le mouvement du cliquet

[1] Brevet anglais n° 15705, déposé le 1er août 1899, accepté le 12 mai 1900. 4 figures.

vers la droite est libre (fig. 4), mais qu'il ne peut revenir vers la gauche que si, au moyen du taquet N, on relève la branche M. Pour faciliter cette remise au zéro du système, ce qui doit se faire périodiquement, un levier O (fig. 2), est disposé de façon à être accessible du dehors, sans ouvrir la cage du compteur ; bien entendu ce levier est placé de façon à être scellé pour qu'on ne puisse pas y toucher sans autorisation.

Pour éviter des accidents au pivotage, pendant le transport, des trous sont ménagés en C_7, à chaque bout du pont, et sont destinés à recevoir des vis de fixation C_8.

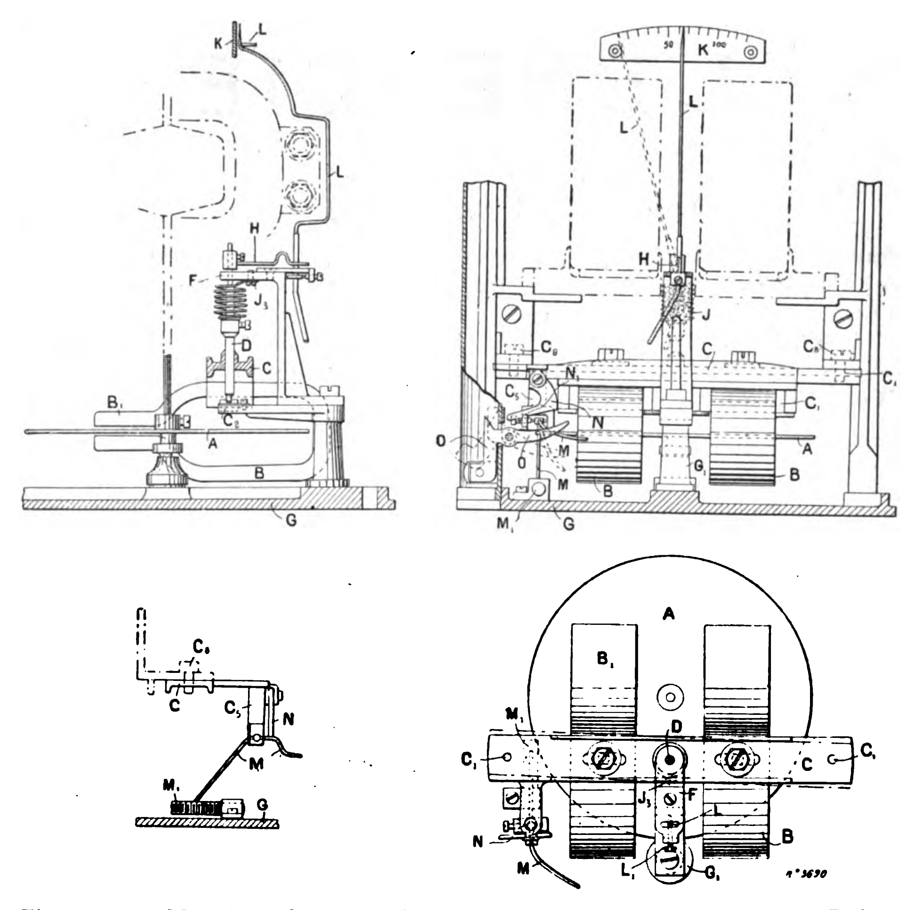


Fig. 1 à 4. — Elévation, plan et détails de l'indicateur de maximum Barker et Ewing.

Pour réduire l'influence des frottements, on peut donner, au système formé par le pont et les aimants, un léger mouvement d'oscillation, entretenu, par exemple, par de petites variations périodiques du couple moteur, obtenues en perçant de petits trous dans le disque du frein. Le ressort J doit être assez fort pour limiter le mouvement du système et pour lui donner une durée d'oscillation courte par rapport aux variations de la puissance à enregistrer ; s'il en était autrement, les variations un peu rapides imprimeraient au mobile un mouvement assez violent et lui feraient indiquer un maximum trop élevé.

Pour les compteurs à courant continu, les inventeurs préfèrent intervertir les pôles des aimants, de façon à former un système astatique, mais il faut alors disposer un autre aimant pour compenser l'action des aimants du frein sur la bobine mobile du compteur.

Dans les moteurs à frein non magnétique, on peut, ou ajouter un système magnétique,



ou trouver un dispositif équivalent. Par exemple, si l'action régulatrice est obtenue à l'aide de palettes tournant dans une cuve remplie de liquide, il est facile de mesurer la réaction exercée sur cette cuve.

L'indicateur de maximum de Ernest Cecil Rimington (1) est un appareil électrolytique. Les gaz produits par la décomposition de l'électrolyte, dans le récipient K, s'échappent dans l'atmosphère par l'ouverture B fermée par un bouchon poreux C. L'échappement étant ainsi retardé, il se produit, dans le récipient K, une élévation de pression qui fait monter le liquide *a* dans la branche ascendante A_1 du tube en U; cette élévation est fonction du courant qui traverse l'appareil (fig. 5 à 8).

L'enregistrement du maximum peut se faire, soit au moyen d'une baguette H, sur laquelle le niveau du liquide s'imprime, soit au moyen d'une tige H_1, percée de petites cavités qui retiennent un peu de liquide. On peut aussi employer un tube à déversement E (fig. 5), dans lequel le liquide, refoulé par la pression, vient tomber; ou, encore, un manomètre quelconque, F (fig. 8), dont l'aiguille avance sous la pression, mais ne revient pas en arrière.

Pour éviter que l'appareil enregistre comme courant maximum l'intensité produite par un court-circuit accidentel, diverses dispositions sont employées pour *retarder* l'élévation de la colonne liquide, dans le tube en U. D'abord le réglage de l'échappement par le bouchon C, ensuite la fermeture partielle de la colonne ascendante, A_1, par un second bouchon poreux G, de sorte que la pression contraire, exercée par l'air au-dessus de la colonne liquide retarde le mouvement. L'emploi d'un réservoir V (fig. 8), de plus grande capacité, dans lequel la pression s'élève lentement; enfin, un étranglement X du tube en U (fig. 6), peuvent être aussi employés pour retarder l'enregistrement du maximum.

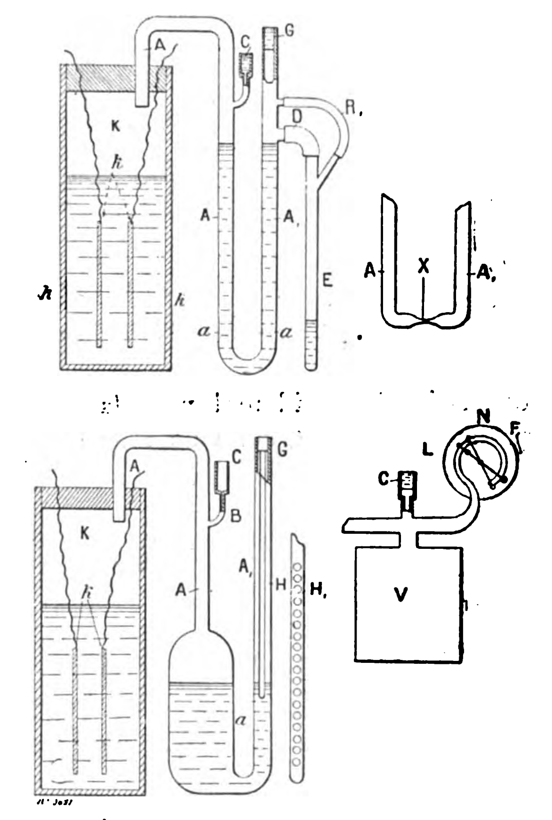


Fig. 5 à 8. — Diverses dispositions de l'indicateur de maximum de Rimington.

Dans le nouvel indicateur de Arthur Wright et The Mutual Electric Trust limited (2), l'action thermique est supprimée. L'appareil se compose d'un récipient 8 auquel est soudé un tube 13 (fig. 9 et 10). Quand le tube est vertical, le liquide du récipient atteint juste au niveau du raccordement du tube. Ce système est monté sur une planchette 7 munie d'une échelle divisée pour permettre la mesure de la quantité de liquide qui passe du récipient dans le tube. Le tout est monté sur l'axe horizontal 3 d'une sorte d'ampèremètre. Un noyau de fer 2 est attiré plus ou moins par un solénoïde 1 traversé par le courant à mesurer; ce noyau porte une cordelette qui s'enroule sur la poulie 4, de telle sorte que la planchette et

(1) Brevet anglais n° 23 753, déposé le 28 novembre 1899, accepté le 10 novembre 1900. 4 figures.

(2) Brevet anglais n° 24 126, déposé le 4 décembre 1899, accepté le 27 octobre 1900. 3 figures

le tube s'inclinent plus ou moins, selon l'intensité du courant; le liquide est alors au-dessus du raccordement du récipient et du tube et tombe dans ce dernier, où il reste comme indication de la valeur maxima atteinte.

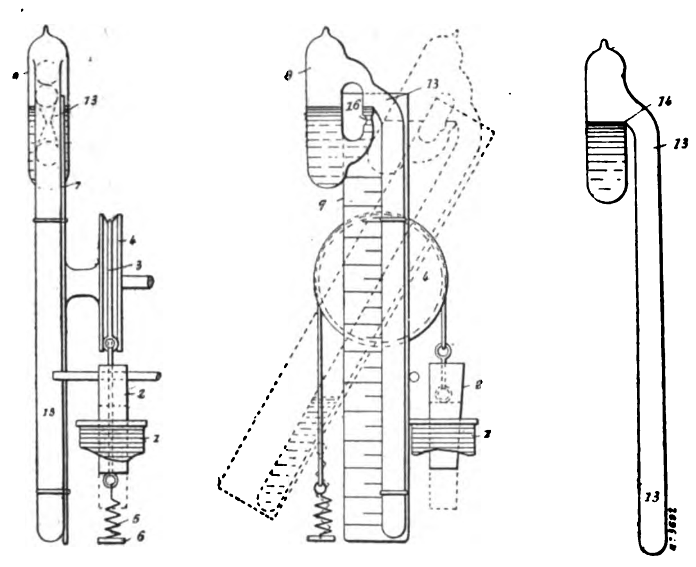


Fig. 9 à 11. — Nouvel indicateur de Wright.

Pour éviter l'action des courts-circuits, la chute du liquide dans le tube est retardée par le choix d'un liquide peu mobile ou, aussi, par un étranglement 16 du tube de jonction (fig. 10). Le récipient peut, au besoin, avoir une forme plus simple (fig. 11).

Les indicateurs de maximum employés actuellement, en particulier ceux basés sur l'action de la chaleur, ont l'inconvénient de ne pas tenir compte du temps pendant lequel le courant maximum a été atteint, de sorte qu'un court-circuit accidentel peut fausser leurs indications — on a vu plns haut que cette préoccupation est celle de tous les inventeurs. — En outre, les appareils qui reposent

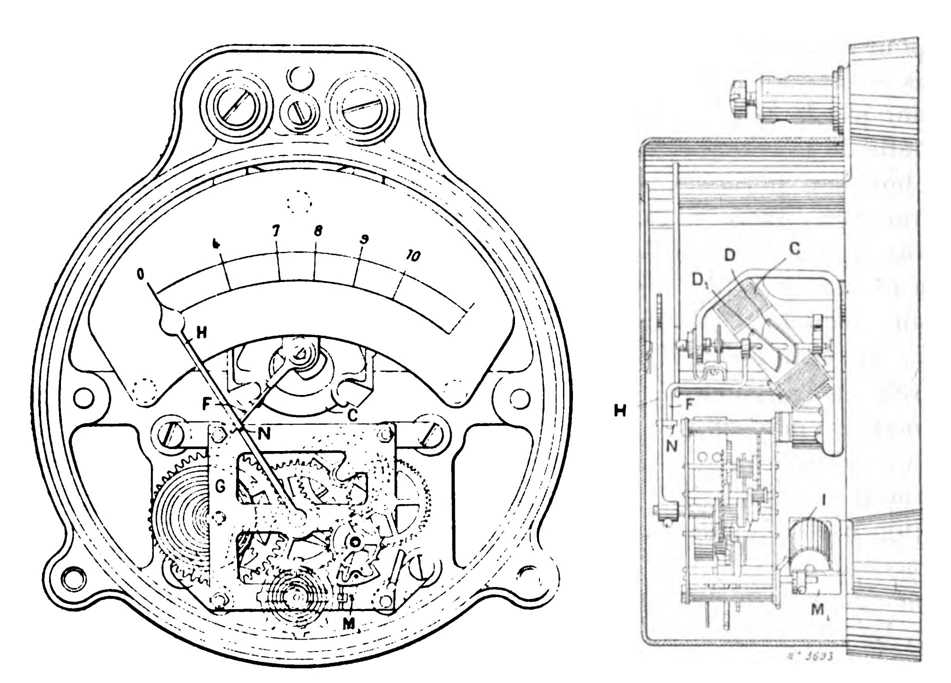


Fig. 12 et 13. — Vue de face et coupe de l'indicateur mécanique de Fish.

sur la dilatation du liquide sont très sensibles aux variations de la température ambiante et ils ne comportent pas une graduation constante et susceptible d'être vérifiée exactement.

Pour remédier à ces défauts, WALTER C. FISH (1) emploie un système purement mécanique composé d'un ampèremètre CD (fig. 12 à 14), à bobine inclinée et à palettes de fer doux également inclinées, et d'un mouvement d'horlogerie. L'ampèremètre peut être remplacé par un autre appareil équivalent ou par un wattmètre.

L'index F de l'ampèremètre peut appuyer sur une goupille N, fixée à l'index H de l'indicateur proprement dit ; ce dernier index est fixé sur un des mobiles du mouvement d'horlogerie. Les index F et H font partie d'un circuit dérivé comprenant l'électro I, de telle sorte que lorsque l'ampèremètre est traversé par un courant, son index dévie et vient buter sur la goupille N ; à ce moment le circuit dérivé se trouve fermé, l'électro I attirant son armature M_1 déclenche le mouvement d'horlogerie et l'index H avance sur la division jusqu'à ce que sa déviation soit assez grande pour que la goupille N abandonne l'index F de l'ampèremètre ; le circuit se trouvant alors rompu, le mouvement d'horlogerie s'arrête et l'index H reste à la position atteinte jusqu'à ce que l'ampèremètre, indiquant une valeur supérieure de l'intensité, vienne de nouveau le faire avancer.

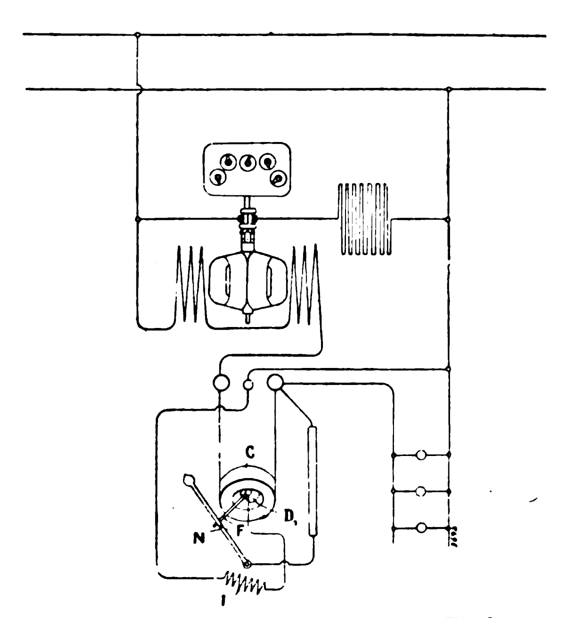


Fig. 14. — Schéma de l'indicateur de Fisch.

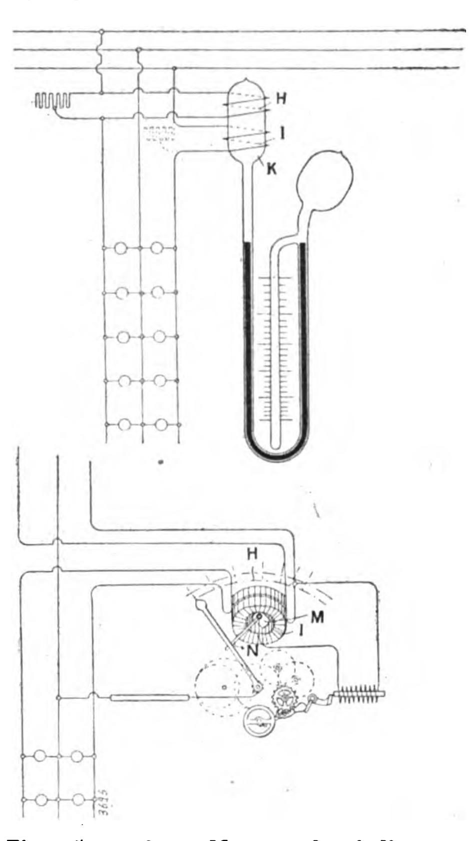


Fig. 15 et 16. — Montage des indicateurs de maximum sur circuits à trois fils F. P. Cox.

On comprend qu'avec cette disposition on peut donner au temps nécessaire pour faire dévier l'index H une valeur quelconque, puisque ce temps dépend du rouage ; on évite ainsi l'enregistrement des courants trop intenses, mais de courte durée.

La disposition suivante, brevetée par la même société, est due à FRANK P. COX (2) ; elle a pour but d'éviter l'emploi de deux indicateurs de maximum dans les circuits à trois fils.

(1) Brevet anglais n° 9246, déposé par The Bristish Thomson Houston Comp., le 2 mai 1899, accepté le 20 janvier 1900. 4 figures.

(2) Brevet anglais n° 9245, déposé par The British Thomson Houston Comp. le 2 mai 1899, accepté le 2 mai 1900. 2 figures.

Avec la disposition ordinaire, les deux indicateurs peuvent être amenés, chacun à son tour, à une valeur déterminée, ou y arriver ensemble ; il est clair que, dans le dernier cas, la puissance maximum consommée est double de ce qu'elle est dans le premier, bien que les indications fournies par les appareils soient les mèmes dans les deux cas ! Pour obvier à ce défaut, l'inventeur ajoute les actions des deux circuits sur le même indicateur. Dans la figure 15, le système est appliqué à un indicateur thermique : deux spirales, H et l, s'enroulent sur l'ampoule de l'indicateur ; elles sont branchées, en dérivation, sur deux résistances intercalées, chacune, dans un des fils extrêmes ; en réglant la dérivation on arrive à régler l'égalité d'action des deux spirales. — Une légère objection, que le brevet ne mentionne pas, peut être faite ; avec le système thermique on *ajoute* deux valeurs proportionnelles au carré de l'intensité et, par conséquent, la même indication peut être obtenue pour deux intensités dans le rapport de 1 à 1,5 environ, selon que le courant est réparti sur les deux fils ou sur un seul!

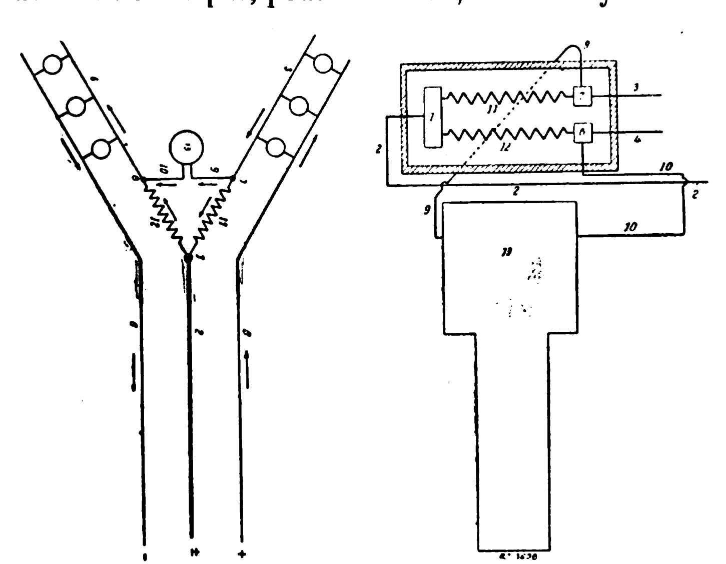


Fig. 17 et 18. — Montage d'indicateurs de maximum sur circuits à trois fils J. R. Dick.

Dans la seconde disposition, du même brevet, on fait usage de l'indicateur mécanique de Fish, décrit ci-dessus, et l'ampèremètre comporte deux enroulements, un pour chaque fil extrême.

La même préoccupation : éviter l'emploi de deux indicateurs de maximum et enregistrer exactement la *somme* des deux courants, dans les distributions à trois fils, se retrouve chez John Reid Dick et The Reason Manuf. Comp (1). Le procédé employé par ces inventeurs donne bien une solution du problème, quant à ce qui est de la somme, mais, si elle évite l'emploi de deux indicateurs, ce n'est qu'au prix d'une complication plus grande dans le circuit. En effet, ce procédé exige le dédoublement du conducteur neutre, sur lequel on place, aussitôt après la bifurcation, deux résistances égales (fig. 17 et 18), destinées à servir de shunt à l'indicateur de maximum 13. Le schéma (fig. 17) montre facilement que l'appareil est bien traversé à chaque instant par un courant proportionnel à la *somme* des deux courants à enregistrer. L'indicateur peut être celui de Wright ou tout autre appareil équivalent. Les résistances 11 et 12 sont assez faibles pour ne pas apporter de perturbation dans le circuit.

Jusqu'à présent, on a essayé d'appliquer des systèmes à tarifs variables, pour favoriser la dépense d'énergie aux heures de moindre consommation, afin de régulariser la courbe de charge des usines et pour arriver à une meilleure utilisation du matériel ; mais, pour éviter des réclamations des clients et une complication trop grande des compteurs, on s'en est tenu généralement à deux tarifs : un pour la journée, l'autre pour la soirée. M. Hector

(1) Brevet anglais n° 630, déposé le 10 janvier 1900, accepté le 10 novembre 1900. 3 figures.

Alan Macdonald [1] peintre aquarelliste ? prend cette idée au pied de la lettre et il fait breveter un dispositif grâce auquel le prix de l'énergie électrique change constamment, suivant une loi établie d'après la courbe de charge journalière moyenne.

La courbe moyennne étant établie pour vingt-quatre heures, soit pour l'année entière, soit pour une saison, ce qui ne change évidemment rien au système, est reportée sur un cylindre 6 (fig. 19 à 25), où elle sert au tracé d'une rainure 7 ; le point 17 correspond au maximum

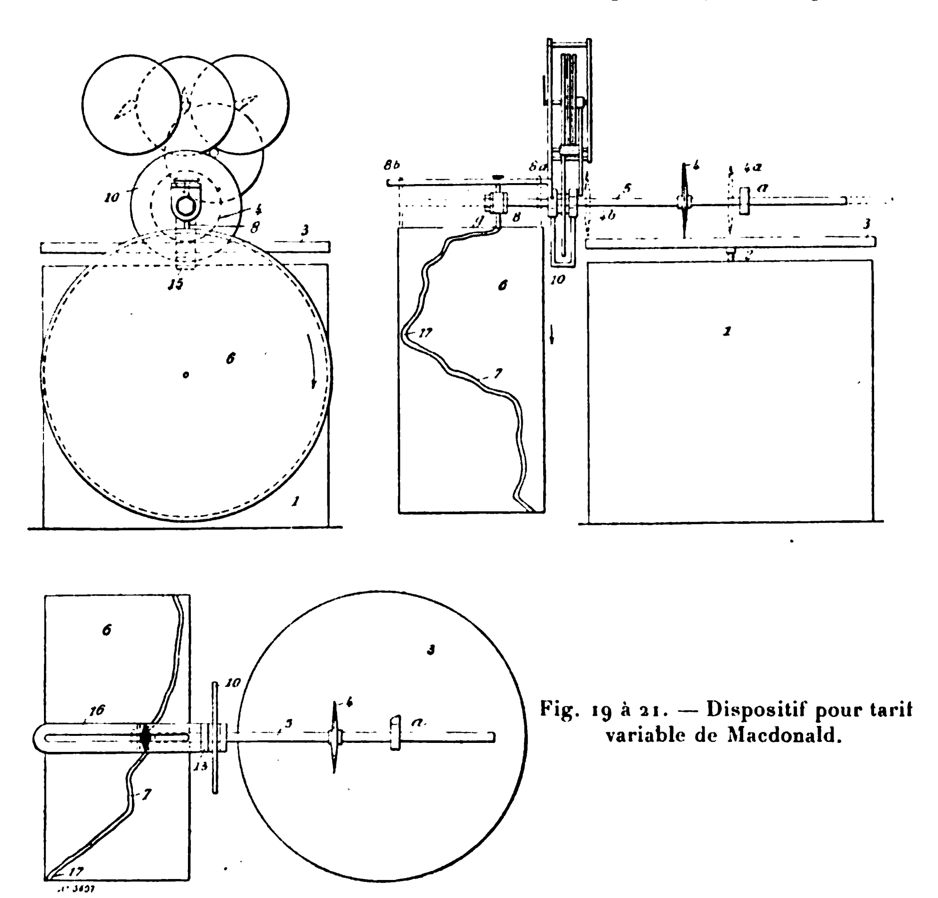


Fig. 19 à 21. — Dispositif pour tarit variable de Macdonald.

de charge, par conséquent le bord opposé du cylindre correspond à la charge nulle. Le cylindre 6 fait un tour en vingt-quatre heures, sous l'action d'un mouvement d'horlogerie. Une goupille 8, montée sur un arbre 5, s'engage dans la rainure et se déplace, parallèlement à elle-même, en entraînant l'arbre 5 ; ce dernier tourne librement dans un coussinet fixe *a* et dans un autre coussinet mobile formé par le manchon 9 qui porte la goupille. L'arbre 5 est carré, dans son milieu, et il glisse dans un trou, également carré, percé au centre de la roue d'engrenage 10, laquelle commande le rouage compteur. Un galet 4 est fixé sur l'arbre 5 avec lequel il se déplace en roulant sur le disque 3 ; celui-ci est porté par l'arbre du compteur proprement dit. Par suite de cette disposition, selon que la courbe de charge est plus ou moins élevée, la goupille 8 fait avancer la roue plus ou moins loin du centre du disque 3, de sorte que le mouvement du compteur proprement dit est transmis au rouage compteur avec une amplification telle que celui-ci avance proportionnellement à la somme

[1] Brevet anglais n° 17719, déposé le 1er septembre 1899, accepté le 14 juillet 1900. 8 figures.

à payer et non à la quantité d'énergie consommée ; par exemple, la roue 4 étant à la circonférence du disque 3 tournera au maximum de vitesse, tandis qu'au moment de la charge nulle, et du prix minimum, la roue 4 sera près du centre du disque 3 et tournera très lentement.

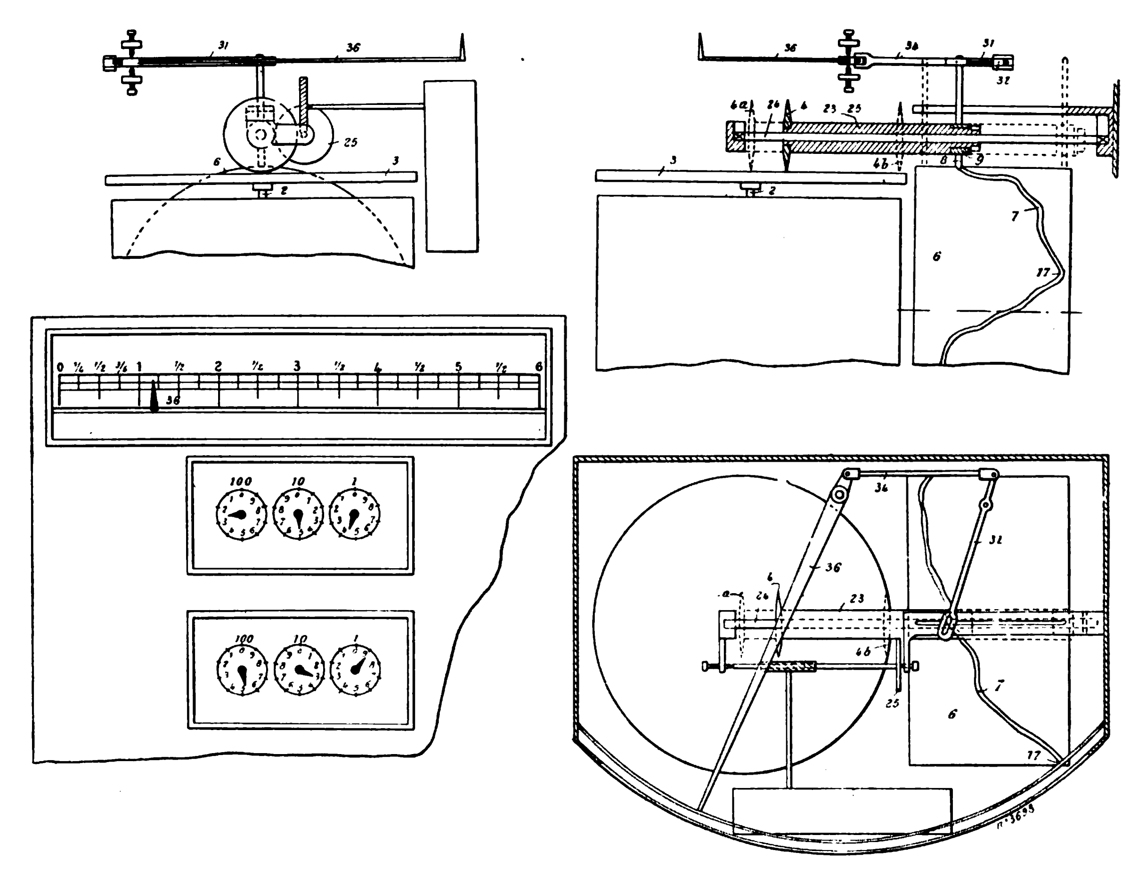


Fig. 22 à 25. — Variante du dispositif pour tarif variable de Macdonald.

Dans ces conditions, la position de la goupille 8 déterminant le prix actuel de l'énergie électrique, il suffit de placer un index sur cette goupille et une échelle divisée en face, pour le client soit à chaque instant avisé du prix qu'il paie et pour qu'il puisse couper son courant au moment où ce prix devient onéreux pour l'application qu'il en fait.

Dans les figures 22 à 25 le système est le même, mais la disposition un peu différente. On voit encore, en 6, le cylindre et la courbe de charge ; la goupille 8 est montée sur une bague qui sert de coussinet à un manchon 23, lequel porte le galet 4 ; l'axe 24 est fixe ; le manchon 23 est denté sur toute sa longueur et il engrène avec la roue 25 du rouage compteur. Là encore le déplacement de la goupille 8 entraîne le galet et fait varier le rapport de transmission entre le disque 3 et le rouage compteur. La position de la goupille 8 est vérifiée du dehors, et le cadran du prix de l'énergie est plus étendu, le mouvement de la goupille étant amplifié au moyen des leviers 31, 34 et 36.

Dans ce système, le rouage compteur n'indique pas la consommation d'énergie électrique, mais le prix réclamé par le fournisseur (cadrans supérieurs) (fig. 25) ; un second système de rouages, monté comme d'ordinaire, peut être ajouté de façon à indiquer le mouvement propre du compteur et la quantité d'énergie consommée (cadrans inférieurs). H. Armagnat.

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

ALTERNATEUR DE 122 KILOVOLTS-AMPÈRES DE MM. SIEMENS ET HALSKE, DE VIENNE

Le second alternateur exposé par MM. Siemens et Halske de Vienne est du type à flux ondulé et présente également plusieurs propriétés intéressantes.

C'est un alternateur à courants triphasés ; sa puissance est de 122 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance minimum de 0,82, ce qui correspond à une puissance utile de 100 kilovatts.

La tension aux bornes est de 2 100 volts et la tension par phase de 1 210 volts, l'induit étant groupé en étoile. L'intensité du courant par phase est de 33,5 ampères.

La fréquence est de 50 périodes par seconde et la vitesse angulaire de 750 tours par minute, ce qui correspond à 4 saillies polaires par couronne.

L'alternateur à flux ondulé de MM. Siemens et Halske de Vienne est représenté sur les figures 1 et 2 qui sont des vues d'ensemble avec coupes de cette machine. Les figures 3 et 4 montrent des coupes et vues partielles d'une partie de l'induit et de l'inducteur à plus grande échelle.

Inducteurs. — Le système inducteur a une constitution originale, il est formé d'une sorte de moyeu en acier coulé portant l'une des séries de saillies polaires et prolongé à une des extrémités par une partie de diamètre plus faible. Ce prolongement porte, venu de fonte, un plateau sur lequel est boulonnée la poulie de commande de la machine.

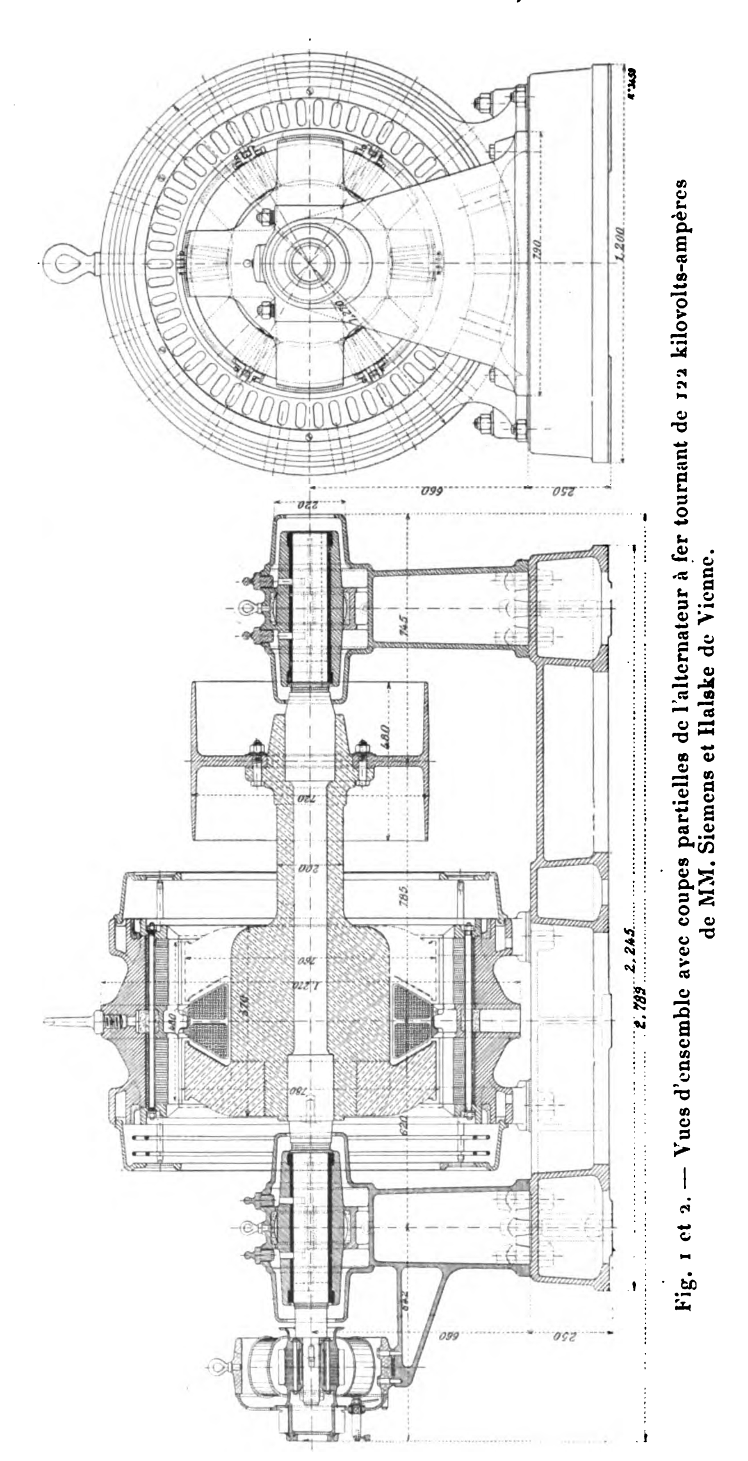


Fig. 1 et 2. — Vues d'ensemble avec coupes partielles de l'alternateur à fer tournant de 122 kilovolts-ampères de MM. Siemens et Halske de Vienne.

Aux deux extrémités du moyeu sont pratiquées des ouvertures cylindriques dans lesquelles les deux parties de l'arbre sont emmanchées à chaud.

La seconde série de saillies polaires est disposée sur une couronne qui, une fois la bobine inductrice mise en place, est glissée sur une partie tournée du moyeu et de façon à ce que les saillies des deux couronnes soient décalées d'un angle égal à la moitié de celui que font deux saillies voisines.

Le diamètre du moyeu est de 48 cm et sa largeur de 57 cm. La partie de diamètre plus faible a une longueur de 68 cm et un diamètre minimum de 20 cm.

Le diamètre de l'inducteur à l'extrémité des saillies polaires est de 76 cm et l'entrefer de 10 mm. Les saillies ont une largeur parallèle à l'axe de 18 cm et une largeur dans le sens perpendiculaire de 20 cm.

La longueur des deux parties de l'arbre emmanchées dans le moyeu est de 20 cm et le diamètre de l'arbre dans ces parties de 14 cm.

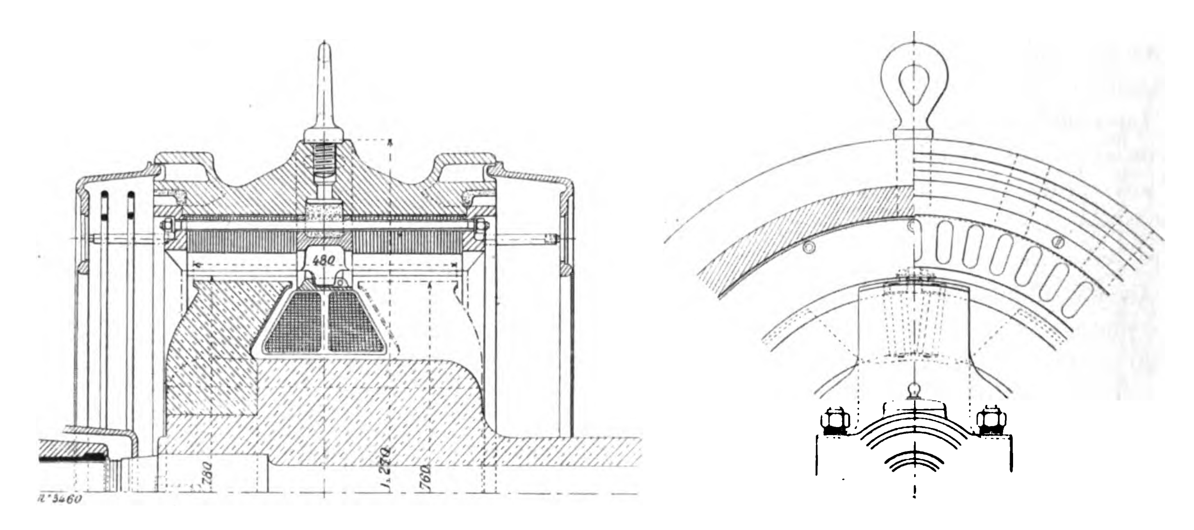


Fig. 3 et 4. — Coupes et vues d'une partie de l'induit et de l'inducteur de l'alternateur de 122 kilovolts-ampères de MM. Siemens et Halske de Vienne.

Induit. — La carcasse supportant l'induit est en fonte et en une seule pièce ; elle est formée par une caisse à section en dos d'âne et est munie d'ouvertures radiales.

La carcasse de l'induit repose par quatre pattes sur un bâti sur lequel elle est boulonnée ainsi que les deux paliers.

Les deux cuirasses de tôles induites sont serrées par des anneaux, contre une couronne à section en forme d'H, à l'aide de boulons isolés des tôles.

Pour diminuer la flexion de ces boulons, on a coulé dans les ouvertures radiales de la carcasse un métal fusible qui se soude à cette carcasse et sert ainsi de support au boulon en son milieu.

Deux couronnes en fonte ajourées servent de protecteurs aux enroulements et sont portées par des anneaux venus de fonte avec la carcasse.

Le diamètre extérieur maximum de la carcasse est de 1,27 m et sa largeur, y compris celles des protecteurs, de 90 cm. La largeur de la carcasse seule est de 62 cm.

Le diamètre intérieur de la carcasse est de 100 cm environ et le diamètre d'alésage des couronnes induites de 78 cm.

Le diamètre extérieur des induits est de 99 cm, ce qui correspond à une hauteur radiale des anneaux de 10,5 cm. La largeur de chacun d'eux atteint 20 cm.

La surface intérieure des deux anneaux induits porte 48 encoches demi-fermées, soit 4 par saillie et par phase, dans lesquelles est réparti l'enroulement induit.

Celui-ci comprend 4 bobines par phase, enroulées à la fois sur les deux induits. Chaque bobine est constituée par deux bobines élémentaires enroulées dans 2 encoches des deux induits chacune et comprend 21 spires de fil de 10 mm² de section. Le nombre de conducteurs par encoche est ainsi de 21.

La résistance de l'induit par phase est de 0,95 ohm et le poids de cuivre utilisé sur l'induit de 150 kg.

Le circuit inducteur placé entre les deux séries de saillies polaires est maintenu par des supports fixés à la carcasse de l'induit. Il est formé de deux bobines disposées l'une à côté de l'autre,

Le nombre total de spires du circuit inducteur est de 710 et la section du fil qui le constitue de 17 mm².

La résistance du circuit inducteur est de 1,43 ohm à chaud et le poids de cuivre de cette partie de 230 kg.

Excitatrice. — Le courant d'excitation de l'alternateur à fer tournant de MM. Siemens et Halske de Vienne est fourni par une petite excitatrice montée sur l'arbre de l'alternateur et en porte-à-faux.

Cette dynamo a une puissance de 150 kilowats sous une tension de 45 volts.

L'inducteur à 4 pôles est en acier et supporté par une console venue de fonte avec l'un des paliers ; son diamètre extérieur est de 48 cm et sa largeur de 17 cm. Le diamètre d'alésage est de 20 cm et l'entrefer de 3 mm.

L'induit en tambour multipolaire enroulé en série a un diamètre de 20 cm et une largeur de 11 cm. Il porte 67 rainures, contenant chacune 4 conducteurs de 62 mm² de section.

Le collecteur fixé sur un prolongement du support d'induit a un diamètre de 20 cm et une largeur utile de 6 cm.

Les balais sont en charbon.

Résultats d'essais. — L'intensité du courant d'excitation nécessaire pour obtenir la tension à vide est de 25 ampères.

Le courant de débit de 33,5 ampères est obtenu en court-circuit avec un courant d'excitation de 7,5 ampères.

En charge de 100 kilowatts utile avec un facteur de puissance de 0,82 l'intensité du courant d'excitation est de 32 ampères. La chute de tension est pour cette charge de 14 p. 100

J. Reyval.

SUR LA THÉORIE GRAPHIQUE DES MOTEURS SYNCHRONES

M. P.-M. Verhoeckx, ingénieur à Amsterdam, nous adresse la lettre suivante :

Permettez-moi de faire une observation sur l'article de M. A. Blondel intitulé : *Compléments à la théorie graphique des moteurs synchrones*, paru dans le numéro 26 de votre estimée revue (t. XVII, p. 429).



Cette observation ne concerne aucunement l'épure de M. Blondel qui met en évidence d'une manière aussi claire qu'élégante les propriétés du moteur synchrone. Pourtant, je prends la liberté de faire une objection contre la première application de l'épure modifiée (p. 438) : *détermination du courant déwatté en fonction de l'excitation à puissance constante.*

Prenons le cas d'un moteur dont les réactions d'induit peuvent être remplacées en somme par une réactance x, un moteur auquel la construction de la figure 5 de l'article de M. Blondel pourrait être appliquée ; mais alors l'application de la figure 9 doit aussi donner un résultat admissible.

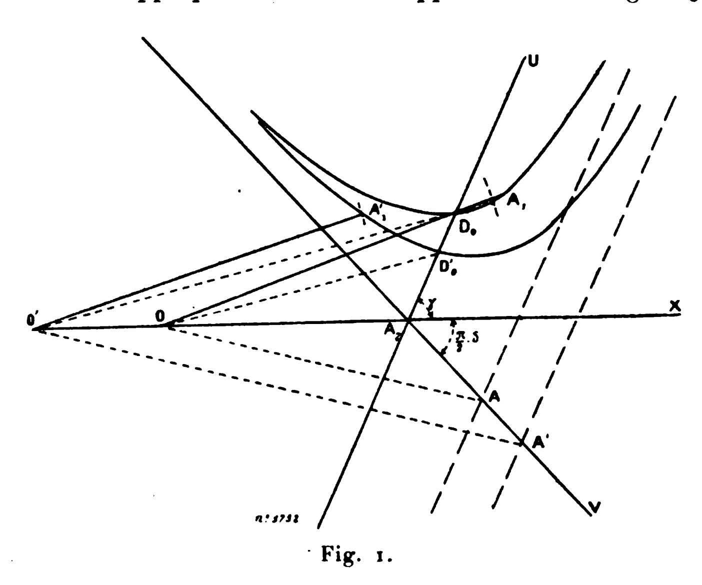


Fig. 1.

Dans ce cas $\mathcal{E}_2 = E_2$ et de la figure 9 résulterait, qu'avec une puissance constante du moteur, le courant watté serait indépendant de l'excitation, ou bien, ce qui revient au même, qu'avec une valeur différente de l'excitation le même courant watté pourrait se manifester. Ceci est impossible parceque la relation $E_2 I_w =$ constante doit exister *dans ce cas-ci.*

La construction de la figure 9 ne peut donc pas être exacte. Or il n'est pas difficile de trouver la faute ! Dans son étude M. Blondel admet qu'avec une puissance et une tension aux bornes constantes, le courant watté doit être constant aussi.

Ceci serait juste par approximation, *si la décomposition du courant I, en un courant watté I_w et un courant déwatté I_d avait eu lieu par rapport à la tension constante E_1*; pourtant dans l'épure de M. Blondel, cette décomposition se fait par rapport à $\mathcal{E}_2$ et l'introduction de I_w comme constante n'est donc pas exacte.

Or il est très bien possible de baser sur l'épure rectifiée de M. Blondel une construction du même genre que celle de la figure 5 et de laquelle cette dernière est un cas particulier, *si les réactions d'induit sont nulles.*

Prenons un système de coordonnées A_2UV (fig. 1) de sorte que A_2U soit dans la direction A_2D de la figure 9 faisant ainsi un angle γ avec A_2X ; puis A_2V perpendiculaire à la direction BD, faisant un angle $\frac{\pi}{2} - \delta$ avec A_2X et un angle $\gamma + \frac{\pi}{2} - \delta$ avec A_2U.

Désignons par u et v les coordonnées d'un point A_1, par rapport à ce système : on aura alors, en introduisant :

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 (L' + l)^2} \qquad u = ZI_w \qquad v = zI_d.$$

La puissance du moteur est

$$P = \mathcal{E}_2 I_w - \omega L' I_w I_d$$

ou, si nous exprimons les composantes du courant en u et v

$$P = \mathcal{E}_2 \frac{u}{Z} - \omega L' \frac{uv}{Zz}$$

de sorte que, P et $\mathcal{E}_2$ étant constants, le lieu géométrique du point A_1, sera une hyperbole :

$$uv = u \frac{\mathcal{E}_2 z}{\omega L'} + P \frac{Zz}{\omega L'} = 0$$

dont les asymptotes sont évidemment l'axe A_2V et une droite parallèle à A_2U, coupant de A_2V un segment

$$A_2A = \frac{\mathcal{E}_2 z}{\omega L'}$$

pendant que l'hyperbole coupe l'axe A_2U en un point D_0, tel que

$$A_2D_0 = \frac{PZ}{\mathcal{E}_2}$$

Pour chaque point O sur A_2X on peut donc construire une *hyperbole de puissance constante.*

Si l'on décrit des cercles autour des points O, avec un rayon constant et égal à E_1, les points d'intersection des cercles avec les hyperboles correspondantes donnent les points A_1 de l'épure de M. Blondel.

Cette épure achevée, on trouve donc pour une valeur définie de P, pour chaque valeur de $\mathcal{E}_2$, des valeurs correspondantes de I_w, I_d et I.

De $\mathcal{E}_2$ et I_d l'excitation *ni* peut être dérivée ; ainsi on obtient des valeurs correspondantes de *ni* et I, d'où la courbe en forme de V peut être construite.

Pour le cas où les réactions d'induit sont nulles on a

$$\mathcal{E}_2 = E_2,$$
$$\delta = \gamma, \qquad A_2A = \infty.$$

Toutes les hyperboles se réduisent à des droites perpendiculaires à A_2U, correspondant dans ce cas avec A_2Y de la figure 5. Ces droites couperont l'axe en un point D, de sorte que

$$A_2D = \frac{PZ}{E_2}.$$

La construction revient donc *dans ce cas particulier tout à fait à celle de la figure 5 de M. Blondel.*

P.-M. Verhoekx,
ingénieur.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Accumulateur Loppé. Morin, Martin et Griner. Brevet anglais n° 20110. Demandé le 6 octobre 1899; accepté le 15 septembre 1900.

Les électrodes positives et négatives sont faites de la même manière.

L'électrode est formée d'un certain nombre de feuilles de plomb minces et ondulées ; il y en 6 représentées sur la figure 2 qui est une portion agrandie de la section verticale suivant la ligne 1-2 de la figure 1.

Ces feuilles sont perforées d'un grand nombre de petits trous *a, a*, de telle façon que le métal autour des trous est repoussé en forme de tronc de cône; la surface d'une feuille ainsi perforée peut être comparée à celle d'une râpe de cuisine.

Les feuilles sont assemblés par des rivets tubulaires *b, b;* il y a en outre des trous *c, c*, qui traversent la plaque de part en part pour permettre la circulation de l'électrolyte ; à la partie supérieure de la plaque, l'écartement des feuilles est maintenu par des cales en plomb *d*.

Les feuilles peuvent être remplacées par des grilles ou des toiles en plomb.



Les intervalles entre les feuilles sont remplis

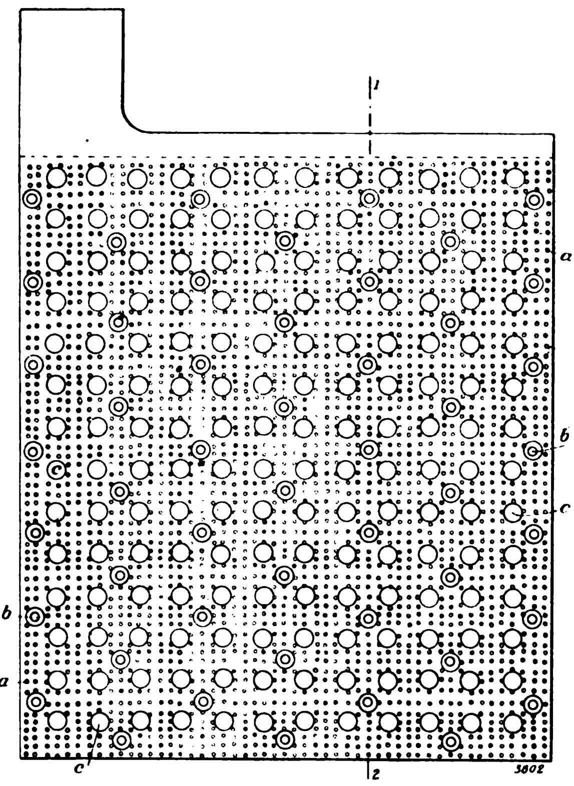


Fig. 1. — Accumulateur Loppé, Morin, Martin et Griner.

de matière active *e*, obtenue soit en empâtant les

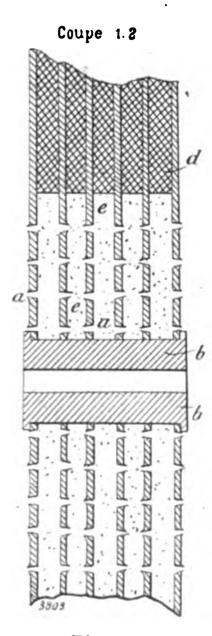


Fig. 2.

deux faces de chaque feuille avant l'assemblage, soit en y déposant, par électrolyse d'un sel de plomb, du plomb spongieux ; la plaque est mise ensuite en formation.

Les plaques peuvent être aussi formées en Planté.

A. B.

Accumulateur Lugard. Brevet anglais n° 22143. Demandé le 6 novembre 1899; accepté le 6 octobre 1900.

C'est une modification des plaques, genre Planté, composées de lamelles réunies par des nervures et un cadre.

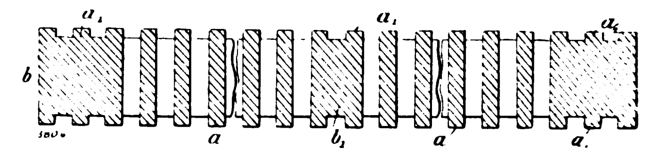


Fig 1. — Coupe verticale d'une plaque Lugard.

Dans le but de retenir le peroxyde qui se forme sur les nervures b_1 et le cadre b, l'inventeur y fait des sillons de façon à laisser des barrettes a_1 a_1 a_1 de même épaisseur que les lamelles a.

A. B.

Accumulateur Wiegaud. Brevet anglais, n° 10318. Demandé le 5 juin 1900 ; accepté le 25 août 1900.

Accumulateur à cuvettes superposées ; la face interne et la face externe d'une cuvette sont de polarités contraires et sont séparées par un isolant liquide.

La figure montre quatre de ces cuvettes superposées. Le fond de chaque cuvette est repoussé

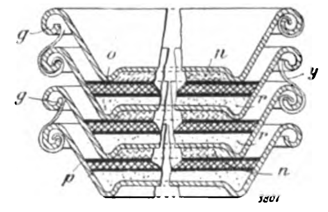


Fig. 1. — Accumulateur Wiegand.

en dedans de façon à former une cavité *n*, qui remplie de minium humide constituera après formation la face positive ; à l'intérieur et au fond de la cuvette est disposée une couche de litharge *r*, ce sera la face négative.

Sur cette couche de matière active négative on place une toile d'amiante *p* ; et, sur celle-ci une

couche de charbon en poudre *o;* la toile et le charbon sont humectés par l'électrolyte.

Le bord de chaque cuvette est tordu deux fois de façon à former une rigole qui contient le liquide isolant *g*. Des tubes *y*, *y*, permettent le remplissage de toutes les rigoles par la rigole de la cuvette supérieure.

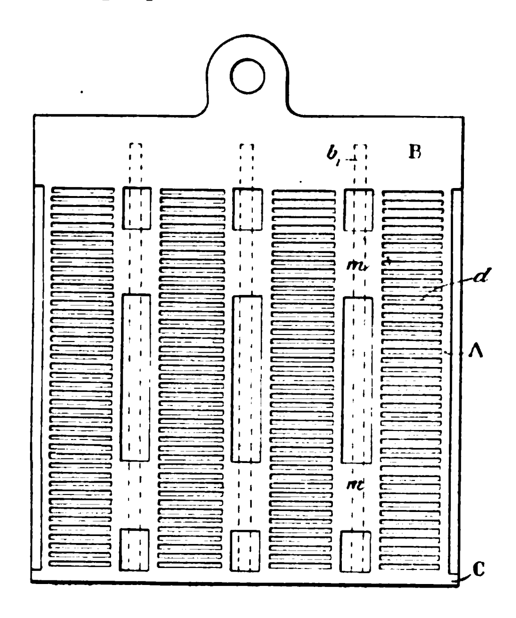
On empile autant de cuvettes qu'il est nécessaire pour atteindre le voltage désiré.

La cuvette inférieure qui n'a pas de matière active extérieurement sera le pôle négatif et la cuvette supérieure sans matière active intérieurement sera l'autre pôle.

A. B

Accumulateur R. et C. Mac Rae. — Brevet anglais nº 13095. Demandé le 10 juillet 1900; accepté le 6 octobre 1900.

La plaque (fig. 1 et 2) est formée par l'assemblage de 4 plaquettes unitaires.



Coupe 1.2.

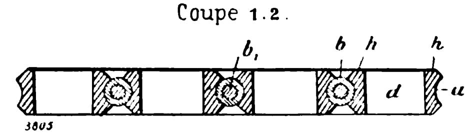


Fig. 1 et 2. — Accumulateur R. et C. Mac Rae.

La plaquette unitaire A est constituée par des bandes minces de plomb *d*, placées horizontalement et soudées à leurs extrémités à des nervures verticales *h*, *h* qui sont entaillées de façon à laisser une gouttière semi-cylindrique *a*.

Lors de l'assemblage des plaquettes, on place dans l'espace formé par la réunion de deux gouttières, un cylindre de cuivre ou d'aluminium b_1, recouvert d'un tuyau de plomb, *b*. Les tiges de cuivre qui dépassent en haut sont noyées dans la pièce en plomb B qui sert ainsi que la pièce du bas C à réunir les 4 plaquettes, on fait enfin des points de soudure en *m*, *m*.

A. B.

Accumulateur Bowker. Brevet anglais nº 15710. Demandé le 4 septembre 1900; accepté le 20 octobre 1900.

L'électrode est en deux parties : une cuvette en plomb dans laquelle s'emboîte une plaque en matière poreuse évidée ; entre les deux se trouve la matière active.

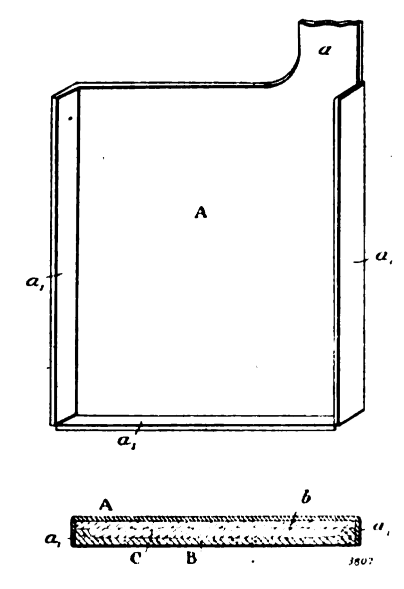


Fig. 1 et 2. — Accumulateur Bowker.

La figure 2 qui est une coupe horizontale d'une électrode montre la matière active C, logée dans l'évidement *b*, d'une plaque en matière poreuse non conductrice B.

Une feuille en plomb (fig. 1), dont trois côtés a_1, a_1, a_1, sont relevés de façon à former une cuvette A, constitue la partie conductrice de l'électrode; on laisse dans la partie supérieure de la feuille une queue *a*.

La plaque poreuse avec sa matière active est introduite dans cette cuvette. Il n'est pas employé de procédé de fixation autre que ce joint télescopique ; l'avantage serait de permettre l'ex-

pansion et la contraction de la matière active tout en évitant sa chute.

A. B.

Accumulateur Goldstein. — Brevet anglais n° 17410. Demandé le 28 août 1899; accepté le 23 juin 1900.

L'électrode positive est faite par l'assemblage de prismes placés comme l'indique la figure.

La section de la partie conductrice d'un prisme est en forme de croix; la matière active i est logée entre les branches de la croix.

L'électrode positive est placée dans un bac en celluloïd perforé m; le fond et les parties infé-

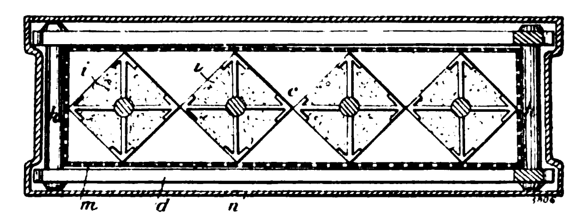


Fig. 1. — Accumulateur Goldstein.

rieures des côtés de ce bac n'ont pas de perforation, afin de retenir la matière active qui tombe et empêcher les courts-circuits.

Les parties centrales des croix se prolongent en haut et sont réunies à un conducteur unique.

Les négatives sont des plaques d, d, reliées par des entretoises k, k.

Le tout est placé dans un bac n.

A. B.

Accumulateur W. B. Bary. — Nous trouvons dans l'ouvrage « Die accumulatoren » de Johann Zacharias (p. 57 et 350) ainsi que dans « Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde » (t. I, p. 359, 1er novembre 1900) les renseignements suivants relatifs à ce nouveau système.

Afin de réaliser la plus grande surface active possible, avec un miniuum d'encombrement et de poids, l'inventeur estampe des anneaux de plomb à 0,5 mm d'épaisseur en les recourbant en forme de gouttières munies de quelques saillies à la partie inférieure. Ces anneaux sont superposés en laissant entre eux un intervalle d'environ 1 mm et sont ensuite soudés par des nervures longitudinales à deux anneaux plus épais, un à la partie supérieure et un autre à la partie inférieure.

On obtient ainsi des électrodes cylindriques que l'on dispose concentriquement comme le représentent les figures ci-contre; la figure 1 montre une coupe des anneaux; les figures 2 et 3, une vue en élévation avec coupe et en plan d'un élément composé de 5 électrodes cylindriques, 2 positives dont l'anneau de connexion est à la partie supérieure, et 3 négatives dont l'anneau de connexion se trouve à la partie inférieure. Les négatives sont fabriquées exactement comme les positives avec cette différence qu'elles sont empâtées à base de litharge tandis que les positives sont à formation Planté.

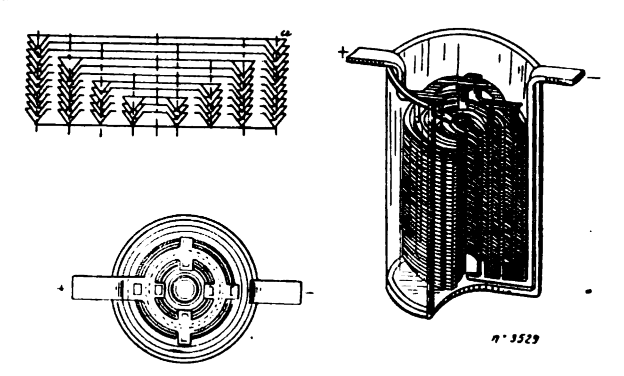


Fig. 1 à 3. — Accumulateur W.-B. Bary.

A côté de ses avantages présentés par la facilité de fabrication, le système présente différents inconvénients : il est difficile d'obtenir avec cette forme d'électrodes des intervalles très réguliers entre les plaques de différente polarité.

D'autre part, les positives ne travaillent pas également sur les deux côtés intérieur et extérieur; c'est aux points où la résistance entre la négative et la positive est la plus faible, que cette dernière travaille davantage.

Il en résulte qu'une augmentation des électrodes, et par suite un agrandissement de la surface ne donnent pas lieu à une augmentation proportionnelle de la capacité.

Dans le tableau suivant ont été réunies quelques valeurs caractéristiques des différentes électrodes de ce système.

Un élément à 3 électrodes de 195 mm de hauteur aurait une surface totale de positive de 63,32 dm^2; l'électrode positive, de 85 mm et 71 mm de diamètres extérieur et intérieur, aurait un poids total de 2,066 kg avant formation Planté

et les deux négatives, séparées de 8 mm de la positive, pèseraient 1,467 kg pour celle intérieure et 3,053 pour l'extérieure, après empâtage et formation.

NUMÉRO du type	DIAMÈTRE extérieur en mm	DIAMÈTRE intérieur en mm	CIRCONFÉRENCE moyenne en mm	SURFACE d'une lamelle positive en mm^2	POIDS d'une lamelle de 0,5 mm d'épaisseur en gr	POIDS d'une lamelle de 0,75 mm d'épaisseur en gr
1 (+)	30	10	62,83	1,760	5	7,5
2 (—)	56	44	157,08		8,9	13,3
3 (+)	90	70	251,32	7,036	19,9	29,8
4 (—)	116	104	345,57		19,5	29,3
5 (+)	150	130	439,82	12,314	34,8	52,2
6 (—)	176	164	534,07		30,2	45,3
7 (+)	210	190	628,32	17,592	49,7	74,5
8 (—)	236	224	722,56		40,8	61,2
9 (+)	270	250	816,81	22,870	64,6	96,9
10 (—)	296	284	911,06		51,5	77,2

L. J.

Contribution à la théorie de l'accumulateur, par le Dr **E. Abel**. *Zeitschrift fur Elektrochemie*, t. VII, p. 731.

On sait qu'il existe deux théories osmotiques de l'accumulateur au plomb. La plus ancienne, celle de Le Blanc, considère l'électrode positive réversible par rapport aux ions Pb tétravalents. D'après la théorie de Liebenow, la réversibilité se ferait par rapport aux ions PbO^2.

Cette dernière théorie paraît avoir comme supériorité une plus grande simplicité et une plus grande facilité de se traduire en formules.

L'auteur veut montrer ici que la théorie de Le Blanc conduit également à une formule simple et remarquable pour la force électromotrice de l'accumulateur.

Par suite de la réaction

$$PbO^2 + 2H^2O = Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot} + 4OH$$

il y a formation d'ions Pb tétravalents qui sont réduits en ions Pb bivalents par la décharge de l'accumulateur.

Si on désigne par $[Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}]_1$ la concentration des ions Pb tétravalents à l'électrode positive, par $[Pb^{\cdot\cdot}]$ celle des ions Pb bivalents; et si on représente par C_{Pb_o} et C_{Pb_i} la tension de dissolution du plomb correspondant respectivement aux ions plombeux et plombiques, on obtient pour le travail A_1 à l'électrode positive

$$A_1 = RT \log_{nep.} \frac{[Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}]_1}{C_{Pb_i}} + RT \log_{nep.} \frac{C_{Pb_o}}{[Pb^{\cdot\cdot}]}$$

travail qui se rapporte à la décharge réversible d'un ion tétravalent en un ion bivalent, par le passage de la quantité de courant 2 F

A l'électrode négative, le travail A_2 est égal à

$$A_2 = RT \log_{nep.} \frac{C_{Pb_o}}{[Pb^{\cdot\cdot}]}$$

et correspond à la charge de Pb en ions Pb bivalents.

On a par conséquent pour la valeur de la force électromotrice E

$$E = \frac{A_1 + A_2}{2} = \frac{RT}{2} \log_{nep.} \frac{[Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}]_1}{C_{Pb_i}} + RT \log_{nep.} \frac{C_{Pb_o}}{[Pb^{\cdot\cdot}]}.$$

Cette expression peut affecter une forme très simple par les considérations suivantes : l'existence des ions Pb tétravalents a été démontrée par les recherches de Friedrich, Elbs et Fœrster; d'autre part, l'auteur a prouvé(1) que le degré d'oxydation inférieur du plomb ne peut pas se trouver en équilibre stable sans la présence simultanée de l'oxydation supérieure et que par conséquent, des ions plombiques doivent être présents à l'électrode négative, la décomposition des ions bivalents de plomb donnant les ions tétravalents et le plomb métallique d'après l'équation

$$2Pb^{\cdot\cdot} \rightleftarrows Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot} + Pb.$$

Par suite, on peut considérer que l'électrode négative envoie en solution un demi-ion plombique au lieu d'un ion plombeux et que la réaction

$$Pb \rightarrow [Pb^{\cdot\cdot}]$$

peut être remplacée finalement par

$$\frac{Pb}{2} \rightarrow \frac{[Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}]_2}{2}$$

en désignant par $[Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}]_2$ la concentration des

(1) *Zeitschr. f. anorg. Chemie*, t. XXVI, p. 361 (1901).

ions plombiques qui se trouve en équilibre avec $[Pb^{\cdot\cdot}]$ par la présence du plomb métallique.

On a par conséquent

$$RT \log_{nép.} \frac{C_{Pb_o}}{[Pb^{\cdot\cdot}]} = \frac{RT}{2} \log_{nép.} \frac{C_{Pb_i}}{[Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}]_2}$$

et la valeur trouvée ci-dessus pour la force électromotrice de l'accumulateur prend la forme simple

$$E = \frac{RT}{2} \log_{nép.} \frac{[Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}]_1}{[Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}]_2}$$

L'accumulateur peut ainsi être assimilé à une chaîne de concentration par rapport aux ions $Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}$ et sa force électromotrice n'est pas autre chose que celle donnée par deux solutions de $Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}$ de concentrations différant énormément. Si en effet on fait $E = 2$ volts, on déduit de la formule précédente

$$\frac{[Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}]_1}{[Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}]_2} = 10^{69}$$

Comme déjà $[Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}]_1$ est extrêmement petit, on voit combien est faible la concentration des ions plombiques à l'électrode négative.

La détermination directe de l'équilibre entre le sel plombique et le sel plombeux par la présence du plomb, n'a pas encore été effectuée. On pourrait mesurer la force électromotrice d'une combinaison(1) convenablement choisie, comme par exemple

$$Pt \mid PbCl^4, PbCl^2 \mid ZnSO^4 \mid Zn.$$

Cela serait intéressant au point de vue de l'accumulateur.

De la formule ci-dessus donnant la valeur de E, on peut évidemment tirer toutes déductions comme, par exemple, la variation de la force électromotrice avec la concentration de l'acide.

Si un ion $Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}$ passe d'une solution plus concentrée dans une solution moins concentrée de $Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}$ comme par la migration de l'électrode positive à la négative, pour maintenir l'équilibre, il va en solution une molécule PbO^2 du côté peroxyde; au côté plomb spongieux, une molécule de Pb métallique entre en réaction avec l'ion $Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}$ diffusant et il se forme deux ions $Pb^{\cdot\cdot}$. Il y a disparition de 2 molécules H^2SO^4 par suite de la formation de $PbSO^4$ solide, et apparition de 2 molécules H^2O.

(1) *Zeitschr. f. anorg. Chemie*, t. XXVI, p. 367 (1901).

Cela signifie que l'égalisation de concentration entre les deux solutions plombiques est équivalente en fait au processus de production du courant.

$$PbO^2 + Pb + 2H^2SO^4 = 2PbSO^4 + 2H^2O$$

Par suite, si l'accumulateur ne se décharge pas rapidement sur lui-même, c'est que les vitesses de diffusion et de réaction sont très petites et que la décharge locale par diffusion des ions plombiques est négligeable à côté de celle qui correspond aux autres causes. L. J.

Calcul des commutatrices, par **Meyer**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p 295, 4 avril 1901.

D'une façon générale, la marche à suivre pour calculer une commutatrice peut se résumer de la façon suivante :

a. On suppose données la grandeur, la fréquence, la tension.

b. Détermination du nombre de pôles, et par suite de la vitesse.

c. Détermination du diamètre.

d. Détermination de la réaction d'induit.

e. Choix de la différence de potentiel entre les lames du collecteur.

f. Densité de courant dans l'induit.

g. Forme des encoches et choix du bobinage induit.

h. Flux par pôle et coefficient de dispersion.

i. Induction dans les diverses régions.

k. Longueur des diverses parties de la machine.

l. Forme des épanouissements polaires et longueur d'entrefer.

m. Ampères-tours par pôle.

n. Calcul du collecteur : 1° diamètre ; 2° largeur des lames ; 3° dimensions des frotteurs ; 4° longueur de collecteur ; 5° self-induction de commutation.

o. Rendement.

p. Données particulières.

Une commutatrice comprend à la fois une génératrice à courant continu et un moteur synchrone. Il ne faut donc pas perdre de vue les difficultés inhérentes à ce dernier genre de machines, en particulier les balancements qui ont une grande tendance à se produire.

Avant d'exposer la méthode de calcul, nous parlerons de la réaction d'induit, car sous ce rapport les commutatrices diffèrent notablement des génératrices à courant continu.

Comme le courant continu parcourt les barres induites en sens inverse du courant alternatif, il n'y a lieu d'en considérer que la résultante. Si les balais sont calés dans la zone neutre, le courant continu produit un champ en retard de 90° sur celui des pôles et la composante wattée du courant alternatif produit un champ en avance de 90° sur celui du pôle. Comme nous allons le montrer ces deux champs sont de même grandeur et se détruisent.

Soit S le nombre des encoches, t le nombre nombre de spires par encoches, I_c l'intensité en continu, I_a l'intensité alternative, E_c la tension

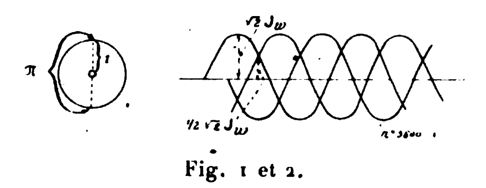


Fig. 1 et 2.

continue, E_a la tension alternative. La réaction d'induit par pôle pour une machine bipolaire est en continu

$$AR_c = \frac{S}{2} t \frac{I_c}{2}$$

mais comme les spires ne sont pas dans une encoche, mais réparties sur la $\frac{1}{2}$ périphérie de l'induit, leur action est réduite dans le rapport $\frac{2}{\pi}$ (fig. 1) et l'on a

$$AR_c = \frac{S}{2} t \frac{I_c}{2} \frac{2}{\pi} = 0,16 \, S t I_c$$

En triphasé, nous avons

$$E_a = 0,615 \, E_c$$
$$I_a = 0,94 \, I_c$$

et la réaction d'induit à pour valeur

$$AR_a = \frac{S}{2.3} t \frac{0,94}{\sqrt{3}} I_c \sqrt{2} \; 1,5.$$

Dans cette expression $\frac{S}{2.3}$ représente le nombre de spires par pôle et par phase, $\frac{0,94 \, I_c}{\sqrt{3}}$ l'intensité par phase, $\sqrt{2}$. 1,5 est un facteur qu'il faut adopter en triphasé pour ce genre de machines, car à chaque moment on peut admettre une intensité maxima = 1,5 fois celle qui produit le magnétisme de l'induit.

Nous devons également tenir compte ici du fait que les spires d'une phase ne sont pas placées dans une encoche, mais réparties sur un tiers de la périphérie. C'est donc leur résultante qui agit, ce qu'on exprime en multipliant l'expression précédente par $\sqrt{3} : \frac{2\pi}{3}$ donc

$$AR_{a3} = \frac{S}{2.3} t \frac{0,74}{\sqrt{3}} I_c \sqrt{2} \; 1,5 \frac{\sqrt{3}}{\frac{2\pi}{3}} = 0,16 \, S t I_c$$

On trouve de même en diphasé

$$AR_{a2} = 0,16 \, S t \, I_c \, .$$

Il est intéressant d'examiner le même résultat en monophasé. On a alors

$$E_a = 0,707 \, E_c \, .$$
$$I_a = 1,4 \, I_c$$

et par suite

$$AR_a = \frac{S}{2} t \; 1,4 \, I_c \sqrt{2} \frac{2}{\pi} = 0,32 \, S t I_c$$

C'est là la réaction d'induit maxima. La réaction minima a pour valeur 0. Nous avons donc une pulsation de 0 à 0,32 $s \, t$ T_c. La réaction d'induit du courant continu 0,16 $s \, t$ I_c s'ajoute à la valeur 0 et se retranche de la valeur 0,32 $s \, t$ I_c. Nous avons donc comme résultante une pulsation de fréquence double de 0,16 $s \, t$ I_c jusqu'à — 0,16 $s \, t$ I_c. Cette propriété des commutatrices monophasées est très peu favorable, car il en résultait que la commutation sans étincelles devient très difficile. Nous nous occuperons donc seulement des commutatrices polyphasées.

Si le décalage est nul, nous pouvons négliger la réaction d'induit. Pour un courant très décalé, on a une déformation du champ, mais cette déformation est moindre que si la machine fonctionnait comme génératrice continue. D'autre part, comme les barres d'induit ne sont traversées que par la résultante de deux courants, la commutatrice permet de transformer une puissance plus grande que la génératrice continue. Si nous supposons que le courant alternatif est

sinusoïdal et en phase avec la tension, les échauffements d'une même machine en commutatrice et en génératrice continue sont dans le rapport 0,56 : 1 pour le courant triphasé, 0,37 ; 1 pour le courant tétraphasé et 0,26 : 1 pour le courant hexaphasé. La même machine a donc une puissance 1,34, 1,64 et 2,06 fois plus grande qu'en continu.

a. *Grandeur, fréquence et tension.* — La commutatrice, en tant que moteur synchrone dépend de la fréquence du courant alternatif, qui est en général beaucoup plus grande que celle que l'on admet dans les génératrices continues. On arrive ainsi facilement à déterminer le maximum de grandeur. On ne dépasse guère 300 ampères par rangée de balais. On en déduit le nombre de pôles, et par suite la vitesse. En outre, pour un nombre donné de pôles, il ne faut pas descendre au-dessous d'un diamètre minimum, afin d'avoir des pôles suffisamment larges et d'éviter une trop grande longueur de la machine. D'autre part, étant donnée une vitesse, le diamètre est limité par la vitesse tangentielle. Toutes ces considérations nous amènent à ne pas faire de commutatrices plus puissantes que 1 500 kilowatts pour 25 périodes. Pour des fréquences plus élevées, la puissance limite est moindre, surtout s'il faut une tension de 500 volts, les tensions plus basses permettent de plus hautes puissances, car le nombre de lames au collecteur est un peu moindre.

En ce qui concerne la fréquence, il y a lieu de la choisir aussi basse que possible. Il existe, il est vrai, en Amérique des commutatrices à 60 périodes, mais ce sont des machines peu sûres, car elles ont une grande tendance à balancer, et le fonctionnement des balais laisse à désirer. La fréquence la plus favorable est de 25 à 30, la fréquence limite à admettre est de 30 à 40 et pour les petites machines de 50. Ces basses fréquence sont d'ailleurs indiquées dans les grands transports de force, au point de vue de l'augmentation du facteur de puissance, de la facilité de couplage des alternateurs, etc. Seuls les transformateurs sont moins avantageux comme rendement et facteur de puissance.

Si les commutatrices sont employées concurremment avec des accumulateurs et cela de telle sorte que la commutatrice puisse en effectuer la charge sans survolteur, il faudra que l'on puisse faire varier la tension de 25 p. 100 ; à cet effet, il faudra que l'on puisse faire varier la tension alternative en munissant les transformateurs d'un secondaire variable. En général il sera préférable d'avoir recours à un survolteur, car le système précédent conduit à des commutatrices et à des transformateurs trop puissants de 25 p. 100.

b. *Nombre de pôles et vitesse.* — Comme on admet au maximum 300 ampères par rangée de balais, on en déduit le nombre de pôles. Soit par exemple une machine de 500 kilowatts, fréquence 40, 500 volts. On a 1 000 ampères en continu et on admettra 8 pôles, à raison de 250 ampères par rangée. Il en résulte une vitesse de 100 tours par minute.

c. *Diamètre.* — Quoique, dans la pratique, les données de construction déterminent suffisamment le diamètre, la vitesse tangentielle et le diamètre par pôle ont néanmoins une grande importance. Pour la première, il ne faut pas descendre au-dessous de 23 mètres, sous peine de compromettre la ventilation ; comme limite supérieure, nous pouvons admettre 38 mètres par seconde aux frettes, mais il ne faut guère dépasser de 30 à 35 mètres. Le diamètre par pôle doit être de 10 cm au minimum.

d. *Réaction d'induit.* — Comme on l'a vu plus haut, le courant en phase avec la tension ne donne lieu ni à une déformation du champ, ni à une réduction d'induit proprement dite. Mais si le courant est en avance sur la tension, la réaction d'induit affaiblit le champ ; si le courant est en retard, elle le renforce. Inversement en augmentant ou diminuant le champ, on peut décaler le courant en avant ou en arrière. Cette propriété rend la commutatrice très précieuse, car on peut l'employer comme compensatrice dans les réseaux ayant un fort courant déwatté. Pour arriver à ce résultat d'une façon efficace, il faut avoir dans l'induit beaucoup de spires par pôle. Ce dispositif a encore d'autres avantages : d'une part, il diminue la tendance à balancer, puisque l'accroissement d'impédance de l'induit s'oppose à l'établissement de courants de circulation déwattés, de plus le démarrage par le côté alternatif est facilité, puisque la tension de démarrage est plus élevée et l'intensité de démarrage moindre. D'une façon générale, les ampères-tours continus par pôle dans l'induit à pleine charge devraient être égaux ou supérieurs aux ampères-tours inducteurs par pôle, à vide.



e. *Différence de potentiel entre les lames du collecteur.* — Cette différence de potentiel dépend de l'intensité du courant de commutation. On admet en général de 10 à 16 volts. En admettant deux lames par encoche, on en déduit le nombre d'encoches. Soit par exemple une machine à 8 pôles de 550 volts, avec 13 volts par lame. On a donc $\frac{8\,550}{13} = 340$ lames et 170 encoches. Il faut naturellement modifier ces chiffres de façon que le nombre total des encoches soit divisible par le nombre des pôles x, le nombre des phases. On arrive ainsi à 168 encoches et 336 lames.

f. *Densité de courant dans l'induit.* — La température de la machine ne doit dépasser nulle part de plus de 40° la température ambiante. En conséquence, on admettra dans l'induit une densité de courant de 4,5 à 6 ampères par mm². Ces valeurs sont bien supérieures à celles que l'on admet en courant continu, puisque l'échauffement

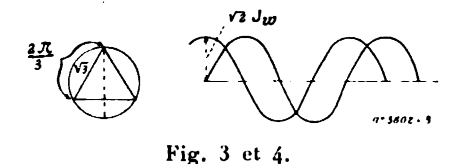


Fig. 3 et 4.

de la machine n'est basé que sur un courant égal à 60 ou 64 p. 100 du courant normal.

g. *Forme des encoches et bobinage induit.* — Pour avoir une bonne commutation, il faut avant tout une faible self-induction ; en effet, les balais sont calés dans la zone neutre et la commutation doit se produire sans le secours d'un champ intense. On adoptera donc un grand nombre d'encoches, un petit nombre de conducteurs par encoche, et des dents complètement ouvertes. Les dentures demi-fermées ont cependant l'avantage de diminuer les pertes dans les noyaux inducteurs. Si donc on se trouve dans de bonnes conditions de commutation, comme une faible tension par lame et une faible vitesse tangentielle du collecteur, on adoptera cette dernière forme de dents. Comme bobinage, on emploira toujours l'enroulement parallèle avec autant de circuits que de pôles.

h. *Flux par pôle et coefficient de dispersion.* — Pour les dynamos à courant continu, la commutation sans étincelles exige une induction élevée sous le pôle ; comme on l'a vu plus haut, il n'en est pas de même dans les commutatrices. On peut donc se tenir sur une partie basse de la caractéristique ; par suite de l'absence de réaction d'induit, la commutatrice présente le caractère d'une dynamo à excitation séparée et on n'a pas à craindre d'instabilité. D'autre part, au point de vue des balancements, on a intérêt à se tenir sur une partie élevée de la courbe ; car lorsque l'induction est plus élevée, la tension tend à rester constante, c'est-à-dire à s'opposer aux variations périodiques. On doit donc examiner chaque cas séparément.

La dispersion est un peu plus élevée que dans les dynamos à courant continu, car il y a plus de pôles et ceux-ci sont moins éloignés les uns des autres. On peut admettre 20 p. 100 de dis-

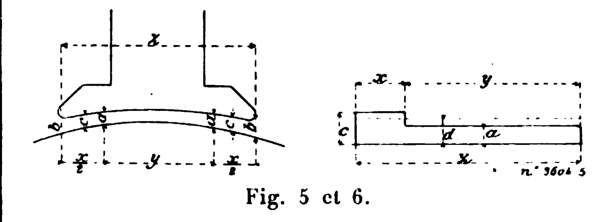


Fig. 5 et 6.

persion lorsque la largeur des pôles est égale à 70 ou 80 p. 100 du pas polaire.

i. *Induction dans les diverses parties.* — On peut admettre à peu près les mêmes chiffres que pour les dynamos. Pour se tenir dans le coude de la caractéristique, on admettra de 6 000 à 9 000 dans l'induit, de 16 à 20 000 dans les dents, de 7 à 9 000 dans l'entrefer, de 12 à 14 000 dans le noyau, et dans la culasse environ 5 000 pour la fonte et 9 000 pour l'acier coulé.

k. *Longueur des diverses parties de la machine.* — Le flux par pôle et l'induction des diverses parties donnent la longueur de la machine. On établit des cloisons de ventilation tous les 12 cm. L'isolation des tôles absorbe 10 p. 100 de la longueur.

l. *Forme des épanouissements et longueur de l'entrefer.* — La meilleure forme des épanouissements polaires est représentée par la figure 5. Aux cornes polaires, il faut augmenter l'entrefer pour que les barres pénètrent graduellement dans le champ et aussi pour agrandir la région dans laquelle se fait la commutation. L'entrefer peut être plus court que dans les dynamos à courant continu ; on économise ainsi du cuivre ; on peut même le prendre aussi petit que les conditions d'exécution mécanique le permettent,

tout en évitant d'augmenter par trop les courants de Foucault dans les pôles. Il y a d'ailleurs lieu de considérer que ces courants de Foucault servent à amortir les balancements.

Lorsque les épanouissements ont la forme que nous venons d'indiquer, on calcule de la façon suivante la longueur d'entrefer (fig. 5 et 6).

Soit a, l'entrefer minimum.
b, l'entrefer maximum.
c, l'entrefer au milieu.
d, l'entrefer moyen.
x, la longueur de la partie évasée du pôle.
y, la longueur de la partie non évasée.
z, la longueur totale de l'arc polaire.

$$\frac{a+b}{2} = c.$$

$$xc + ya = zd$$

$$d = \frac{xc + ya}{z}.$$

m. *Ampères-tours d'excitation par pôle.* — On les calcule comme dans les dynamos à courant continu. Lorsque l'on emploie un compoundage ([1]), on ajoute un enroulement en série qui dépend de l'importance du compoundage ou de l'hypercompoundage. Pour compenser 10 p. 100 de chute de tension on choisit environ la moitié de la réaction d'induit pour l'enroulement gros fil, ce qui exige de 10 à 15 p. 100 de résistance dans la

n. *Collecteur.* — Le calcul du collecteur se fait comme pour les dynamos à courant continu. La haute fréquence nécessite des vitesses périphériques plus grandes, et la différence de potentiel entre lames est également plus élevée. Il faut donc apporter un soin particulier à l'établissement du collecteur. En particulier les grandes vitesses périphériques exigent une pression plus forte des balais sur le collecteur : on va jusqu'à 250 gr par cm².

Pour entretenir un collecteur en bon état malgré les difficultés particulières que présentent les commutatrices, on peut employer les dispositifs suivants : 1° les boîtes à balais doivent être disposées de telle sorte que les balais de même rang dans deux rangées consécutives ne soient pas sur une même ligne, mais décalés d'une demi-largeur de balai ; 2° on doit employer un dispositif qui donne à l'induit un mouvement alternatif parallèlement à l'axe, ce qui empêche le collecteur de gripper.

En Amérique ce mouvement latéral est produit par des moyens magnétiques ou mécaniques. Par exemple un électro-aimant est fixé au palier (fig. 7 et 8) et est excité périodiquement par un contact tournant, ce qui produit une attraction de l'arbre. Lorsque le courant est interrompu, le champ de la machine ramène l'induit en arrière.

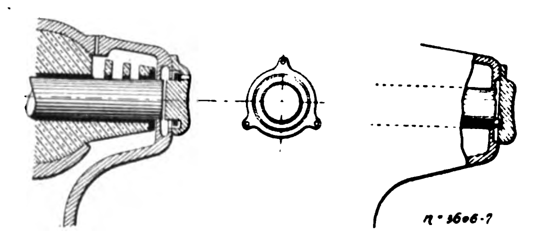


Fig. 7 à 9.

La General Electric Company a fait breveter un dispositif plus simple. A l'extrémité du palier est fixée une plaque portant une surface oblique (fig. 9). L'arbre et la plaque portent une rainure à égale distance du milieu, dans laquelle se meut une bille métallique. Il en résulte un mouvement de va-et-vient de l'arbre, dont l'amplitude dépend des diamètres de la rainure et de la bille.

o. *Rendement.* — En ce qui concerne le rendement, il faut avant tout se préoccuper de savoir s'il existe dans l'installation une cause quelconque de balancements. Dans ce cas il faudra éliminer ces balancements, et cela au détriment du rendement, la perte dans les noyaux pouvant alors être doublée ou triplée.

La perte dans l'induit RI^2 est égale à 60 p. 100 de la perte en continu pour le triphasé et à 25 p. 100 de l'hexaphasé.

La perte dans les inducteurs est en général assez faible, car il suffit d'un petit nombre d'ampères-tours par pôle et par suite on peut mettre beaucoup de cuivre. Pour les pertes par frottement et ventilation, on peut admettre $\frac{1}{2}$ à 1 p. 100 pour les machines de type américain, d'une puissance supérieure à 100 kilowatts. Les pertes dans le collecteur sont de 1 p. 100, celles

([1]) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1900, n° 14. Les commutatrices, par l'auteur.

des bagues de contact de 0,1 p. 100. Les pertes par courants de Foucault sont de 2 à 3 p. 100. On arrive ainsi à un rendement de 93 à 96 p. 100 pour les puissances supérieures à 100 kilowatts.

p. *Données particulières.* — Le balancement est une propriété caractéristique de toutes les machines à courants alternatifs synchrones. Il y a d'abord une oscillation de même fréquence que la machine primaire. Cette oscillation peut être provoquée :

a. par de fortes variations de charge ;

b. par les balancements du régulateur de la machine motrice ;

c. par l'irrégularité de la vitesse de la machine primaire, due aux irrégularités du couple moteur.

En outre, il peut y avoir des balancements d'une fréquence particulière. Des causes extérieures telles que les variations de charge et de tension peuvent déterminer une avance ou un retard de l'induit par rapport au courant alter-

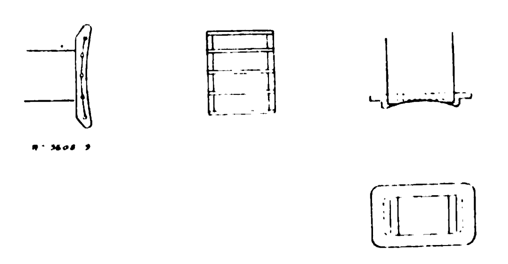


Fig. 10 à 13.

natif. L'attraction des pôles s'oppose à ce mouvement et il en résulte une oscillation dont la fréquence dépend du moment d'inertie de l'induit et de l'intensité du champ. Les deux sortes de balancement déterminent une variation du flux transversal qui va de l'induit aux pôles en passant d'abord par les cornes polaires. La zone neutre se déplace donc et il en résulte des étincelles aux balais.

Pour éviter ces phénomènes, il existe plusieurs moyens dont quelques-uns ont déjà été signalés plus haut. Il faut toujours employer un métal de faible réluctivité pour que le flux puisse suivre les petites variations de tension. On fera donc la culasse en acier coulé.

Pour éviter les balancements dus au régulateur, on emploiera des amortisseurs à huile.

Nous citerons trois systèmes amortisseurs proprement dits. Le premier de Hutin et Leblanc est bien connu et se compose d'une cage d'écureuil disposée dans les masses polaires (fig. 10 et 11). Le second est employé par la compagnie Westinghouse (fig. 12 et 13) et se compose d'un court-circuit entourant les masses polaires. Le troisième (fig. 14) consiste à réunir les crosses polaires par des pièces de cuivre. Ce dernier moyen, employé par la General Electric Company, a été reconnu comme le meilleur; car il consiste à n'arrêter que le flux des cornes polaires et entre les pôles, tandis que le flux principal n'est pas influencé. Au fond, les

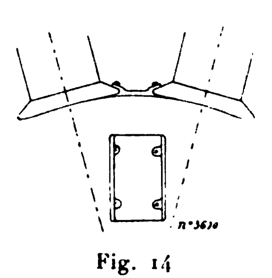


Fig. 14

trois systèmes agissent de la même façon : toute variation de flux engendre des courants de Foucault dans les masses de cuivre et il en résulte un amortissement qui force la commutatrice à se conformer aux variations extérieures. Comme la force vive a un effet opposé, on est conduit à réduire autant que possible l'inertie de l'induit.

Certaines conditions d'exploitation peuvent amoindrir les chances de balancement. C'est ainsi qu'il est bon de sous-exciter les commutatrices, car elles prennent alors un courant décalé en arrière et toute augmentation de vitesse diminue le décalage ; c'est le contraire qui arrive si le courant est décalé en avant. E. Beutom.

DIVERS

Théorie du courant électrique dans les gaz, par **J. Stark**. *Dr. Ann.*, t. V, p. 90-113, mai 1901.

Le courant électrique à travers un gaz peut être considéré comme résultant de la superposition d'un courant de conduction et d'un courant de convection. Dans ce cas, il faut distinguer aussi la vitesse de migration des ions dans le courant de conduction et leur vitesse de convection dans le courant de convection. La première est plus grande que l'autre.

Ou bien, on peut chercher à exprimer le phénomène en définissant l'intensité comme une fonction non pas seulement de la force électro-



motrice au point considéré, mais aussi de cette force aux points précédents, introduire par conséquent une intégrale de la force électromotrice.

D'une manière comme de l'autre l'intensité n'est plus proportionnelle à la force électromotrice, en d'autres termes la loi d'Ohm ne s'applique pas aux gaz.

Les gaz se distinguent des autres conducteurs encore par une autre propriété : ils peuvent renfermer des ions libres indépendamment des ions libérés par le courant lui-même [1]. Si ces derniers existent seuls, le nombre de ions par unité de volume (n_p, n_n) dépend de la densité du courant (ce qui n'a pas lieu dans les conducteurs ordinaires). En outre le degré d'ionisation dépend aussi des limites de la trajectoire. A intensité égale la conductibilité totale ($n_p v_p + n_n v_n$) dans la lumière positive non stratifiée est plus grande quand la section du tube est plus grande. La variation d'un point à l'autre, du degré d'ionisation est aussi caractéristique pour les gaz. Enfin, au voisinage des électrodes, la concentration des ions subit une diminution notable, par ce que le courant entraîne sans cesse les ions libres. Cette diminution est surtout sensible à la cathode parce que la vitesse des ions positifs est plus grande que celle des ions négatifs.

La loi d'Ohm ne s'applique aux gaz que dans une portion de la trajectoire du courant où le degré d'ionisation et par suite la force électromotrice sont constants sur une certaine étendue. C'est ce qui arrive dans la lumière positive non stratifiée. C'est grâce à cette circonstance qu'on peut calculer la conductibilité totale du gaz d'après la chute de potentiel et l'intensité totales.

$$\lambda = (n_p v_p + n_n v_n)\, e = ne\,(v_p + v_n).$$

Lorsque le gaz est fort raréfié, la loi d'Ohm ne s'applique plus au voisinage de la cathode, ce qui est évident si on considère un faisceau de rayons cathodiques comme un courant de convection. Il est difficile de fixer la limite à partir de laquelle la loi d'Ohm cesse d'être applicable, d'autant plus que cette limite ne saurait être bien rigoureuse. On peut dire cependant que, dans une région du gaz où la force électromotrice varie d'un point à l'autre, la loi d'Ohm cesse d'être applicable quand la portion de trajectoire considérée est plus courte que le chemin moyen des ions correspondant à la grande qu'ils possèdent dans une section de cette région.

Dans les conducteurs ordinaires, les lignes de courant coïncident avec les lignes de force. Il n'en est pas de même, en général, dans les gaz. Cependant, quand la pression est supérieure à 1 mm, ces deux systèmes de lignes coïncident encore dans la lumière positive non stratifiée car la lumière positive suit la courbure de la trajectoire de la décharge.

Si on fait passer la décharge dans les deux branches identiques d'un tube en forme de croix, on voit que le centre de la croix reste obscur, ainsi que deux diagonales, tandis que la lumière positive s'accumule sur les autres angles : l'éclat augmente du centre vers les parois. Cette distribution des lignes de courant est celle que la théorie indique dans un conducteur ordinaire en forme de croix.

Mais quand la pression descend au-dessous de 1 mm, ou quand la force électromotrice est très grande, la vitesse des ions devient grande et les lignes de courant ne suivent plus la courbure des lignes de force. On sait, en particulier, que les rayons cathodiques ne suivent pas la courbure de la trajectoire du courant : ceci s'exprimerait analytiquement par l'existence d'une force centrifuge agissant sur les ions, à laquelle, dans le régime stationnaire fait équilibre la composante du champ normale à la trajectoire.

Dans les conducteurs ordinaires, la densité du courant positif et la densité du courant négatif et par conséquent leur rapport sont constantes, ce qui n'a pas lieu en général dans les gaz. Dans les gaz, les densités de courant s'expriment par deux termes :

$$I_p = n_p\, e v_p\, X_p + C_p$$
$$I_n = n_n\, e v_n\, X_n + C_n.$$

représentant l'un le courant de conduction, l'autre le courant de convection. Dans ces expressions, n désigne le nombre d'ions par unité de volume, e la charge d'un ion, v la vitesse communiquée aux ions par la force

[1] Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. XXVII, p. 294, mai 1901.

unité, X la force qui agit sur ces ions. Pendant le régime stationnaire, on doit avoir :

$$\frac{dJ_p}{dx} + \frac{dJ_n}{dx} = o.$$

ce qui n'exige pas que $\frac{dJ_p}{dx}$ et $\frac{dJ_n}{dx}$ soient nuls séparément.

Par suite de la grande vitesse des ions négatifs, C_n a une valeur notable ; la variation de I_n avec les coordonnées dépendra donc surtout de la variation de C_n. Or le courant de convection négatif présente la plus grande valeur dans les sections qui succèdent à un maximum du champ.

Le champ est maximum dans les régions obscures, minimum dans les régions lumineuses : par suite $\frac{dJ_n}{dx}$ et $\frac{dJ_n}{dx}$ ont leurs plus grandes valeurs absolues dans ces régions.

La vitesse des ions et par conséquent la densité du courant sont, dans un conducteur ordinaire proportionnelles à la force électromotrice X qui, dans un conducteur homogène, est égale à la chute de potentiel $-\frac{dV_a}{dx}$. On a alors :

$$J = \lambda X = -\lambda \frac{dV_a}{dx}$$

Si le conducteur n'est pas homogène, il s'y produit en général des forces électromotrices locales, qui n'ont plus de potentiel. La force électromotrice n'est plus égale à $-\frac{dV_a}{dx}$, V_a étant le potentiel mesuré par l'électromètre. Pour obtenir la force totale, il faut ajouter à celle-là, un terme représentant les forces électromotrices locales et écrire :

$$J = \lambda X = -\lambda \left(\frac{dV}{dx} - \frac{dV_i}{dx}\right)$$

Sinon, on fait deux hypothèses : la première, c'est que le courant dans le gaz est un courant de conduction satisfaisant à la loi d'Ohm, la deuxième, c'est que la force électromotrice est identique à la chute de potentiel mesurée par l'électromètre : ces deux hypothèses sont inexactes.

Il n'est pas non plus légitime à priori d'appliquer aux gaz traversés par le courant, l'équation de Poisson

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -4\pi\rho$$

d'autant plus que rien ne prouve que l'existence d'électricité libre dans un corps traversé par un courant soit possible.

On peut désigner par force électromotrice, d'une manière générale, toute cause susceptible de produire un courant, ou dans le cas actuel susceptible de communiquer aux ions une certaine vitesse.

La force électromotrice peut être due à des charges extérieures à l'élément de conducteur considéré et à des charges intérieures : la force électromotrice totale que déterminent les mesures sera la somme de celles qui correspondent à chacune de ces causes :

$$\frac{dV}{dx} = \frac{dV_a}{dx} + \frac{dV_i}{dx}.$$

Les forces magnétiques peuvent aussi donner naissance à des forces électromotrices quand les ions se déplacent par rapport aux points où le champ magnétique est constant. Si A, B, C sont les composantes du champ magnétique $\left(\frac{dx}{dt}\right)_p$ et $\left(\frac{dy}{dt}\right)_n$ les vitesses relatives des ions, la force électromotrice qui agira sur l'unité de charge sera, suivant que cette charge est positive ou négative,

$$\left[B\left(\frac{dz}{dt}\right)_p - C\left(\frac{dy}{dt}\right)_p \right]$$

ou

$$-\left[B\left(\frac{dz}{dt}\right)_n - C\left(\frac{dy}{dt}\right)_n \right].$$

Les ions peuvent être encore soumis à une force électromotrice provenant de l'action des ions voisins, si le champ résultant de la présence de ces ions n'est pas uniforme. Cette force sera dirigée suivant la direction où la variation du champ est la plus rapide.

Sous l'action de cette force, un ion libre tend à se mouvoir ; une particule neutre tendra à s'orienter : il en résultera une polarisation, c'est-à-dire une chute de potentiel $\frac{dVi}{dx}$.

Enfin, il faut aussi considérer comme une force électromotrice la chute de pression partielle des ions. Cette pression partielle est proportionnelle au nombre des ions dans l'unité de volume et à leur température absolue. La température absolue est proportionnelle à l'énergie cinétique des ions. Cette énergie cinétique pro-

vient du courant électrique et au bout d'un temps qui n'est pas très petit, les ions cèdent cette énergie aux particules neutres. Puisque ce temps n'est pas très petit, la température absolue des ions est supérieure à la température moyenne des particules neutres et aussi à celle de la masse entière du gaz.

D'autre part, l'énergie cinétique des ions négatifs est plus grande que celle des ions positifs, dans les mêmes conditions. Par conséquent, au même point, les températures moyennes T_p et T_n des deux espèces d'ions ne sont pas égales entre elles.

Les pressions partielles P_p et P_n des ions peuvent varier parce que le nombre des ions par unité de volume ou bien leur température varient. Une variation de P_p agit sur les ions positifs comme une force électromotrice, ayant pour valeur, par unité de charge :

$$-\frac{1}{n_p e}\frac{dD_p}{dx}.$$

D'une manière analogue, on aurait pour les ions négatifs :

$$-\frac{1}{n_n e}\frac{dD_n}{dx}.$$

Si une force électromotrice locale se produit dans le conducteur, son premier effet est de séparer des ions positifs et négatifs, de produire par suite une charge positive et une charge négative. La présence de ces charges provoque l'existence d'une différence de potentiel qui agit sur les ions en sens inverse de la force électromotrice locale.

En général, dans les gaz traversés par le courant, les forces électromotrices locales proviennent seulement des variations de la pression partielle des ions. Dans les régions lumineuses, le degré d'ionisation (n_p et n_n) est plus grand que dans les régions obscures voisines : de même la température est plus élevée dans les premières. A partir du milieu d'une région lumineuse, la pression partielle des ions diminue donc de part et d'autre. Il s'ensuit qu'une force électromotrice interne agit tant du côté l'anode que du côté de la cathode.

L'existence de cette force électromotrice est liée à la présence de charges libres internes. Ces charges peuvent avoir encore une autre origine. Des ions qui ont acquis une vitesse assez grande, arrivent dans une région où la force est moindre et perdent peu à peu leur vitesse par les chocs : ils s'accumulent et il se produit une charge interne, si les ions de signe contraire ne se rassemblent pas en nombre égal.

Du moment où on n'admet plus la loi d'Ohm, le transport d'énergie dans les gaz traversés par le courant devient assez compliqué. La différence essentielle entre les gaz et les conducteurs ordinaires est qu'en général l'énergie cinétique des ions ne se manifeste là où la force la produit. Les ions parcourant un chemin moyen assez grand, conservent leur vitesse acquise sur un parcours assez grand, jusqu'à une région où la force étant moindre, ils perdent cette vitesse par les chocs. Les maxima relatifs de l'énergie cinétique des ions et par suite les maxima relatifs du dégagement de chaleur de Joule sont donc déplacés par rapport aux maxima de la force, dans le sens du mouvement de ces ions.

L'ionisation est provoquée par l'action simultanée du champ et des chocs des ions en mouvement contre les particules neutres. En même temps, des particules neutres se reforment par la recombinaison des ions. Dans certaines régions comme dans la lumière positive non stratifiée, ces deux phénomènes inverses se compensent et il n'y a pas à les faire intervenir dans le calcul de l'énergie. Mais dans la lumière positive stratifiée et au voisinage de la cathode, le champ et le degré d'ionisation ne sont plus uniformes et cette compensation n'a plus lieu. Il faut tenir compte encore des changements de concentration des ions et de la diffusion. Le premier phénomène entraîne une augmentation du nombre des ions dans les régions où la force est minima et inversement : la diffusion produit l'effet contraire, mais selon toute apparence, dans une mesure beaucoup moindre. S'il en est ainsi, l'énergie potentielle créée dans les régions où la force est maxima, se retrouve sous forme d'énergie cinétique au moment de la recombinaison des ions dans les régions où la force est minima.

Les stratifications correspondent à une variation, périodique dans l'espace, de l'état du gaz. Il est à supposer que les causes agissant pour maintenir cette variation périodique se manifesteront aussi dans la production des stratifications.

D'après ce qui précède, on peut s'expliquer



comme il suit la naissance des stratifications. A la cathode, il se produit en raison de la grande vitesse des ions négatifs une raréfaction de ceux-ci et par suite un accroissement du champ. Les ions négatifs lancés ensuite de la cathode prennent une grande vitesse et la conservent sur un parcours assez long. Ils possèdent donc une énergie cinétique considérable, grâce à laquelle ils provoquent à quelque distance de la cathode une ionisation intense et par suite une diminution de la force. Cette région correspond à la lueur négative. Au delà de cette région, la force augmente de nouveau, puisque l'ionisation a diminué ; les ions négatifs s'accumulent par suite de la perte de la vitesse due aux chocs : il se forme ainsi la région obscure de séparation. Cette couche d'ions négatifs, où le champ est intense joue le rôle d'une seconde cathode : le phénomène peut se reproduire plus loin et ainsi de suite jusqu'à la cathode.

Les mouvements des ions positifs ne peuvent guère entraîner de modification essentielle dans le phénomène, car d'après certaines observations, il est probable que la vitesse et l'énergie cinétique de ces ions est beaucoup moins grande que celle des ions négatifs.

La longueur d'une stratification est une fonction de l'intensité du courant. En effet, cette longueur sera d'autant plus grande que le chemin moyen des ions négatifs dans la couche lumineuse est plus grand. Ce chemin est d'autant plus grand que la vitesse des ions négatifs, c'est-à-dire le champ dans la région obscure précédente, est plus grande, et plus le nombre des ions positifs dans cette région est petit. Or le champ et le degré d'ionisation dépendent de l'intensité.

Il est probable que la longueur des stratifications augmente d'abord, puis diminue quand la densité de courant augmente. Elle dépend aussi de la pression du gaz, puisque le chemin moyen des ions en dépend : elle doit croître comme ce chemin moyen quand la pression diminue.

M. L.

Vibrations mécaniques et décharges électriques latérales d'un fil tendu isolé, par **O. Viol.** *Dr. Ann.*, t. IV, p. 734-762, avril 1901.

Un fil est tendu entre deux supports isolés : l'une des extrémités reste libre ; l'autre est en communication avec l'une des boules d'un exploseur dont l'autre boule est reliée au conducteur d'une machine de Holtz : l'autre conducteur de la machine est en communication avec le sol. Lorsque les décharges traversent le fil, celui-ci s'illumine entre les deux points isolés, mais point d'une manière uniforme : certaines régions régulièrement espacées restent obscures. A première vue, on est tenté d'attribuer ce phénomène à des oscillations électriques et à des ondes stationnaires. Mais une étude plus complète montre qu'il est dû aux décharges se produisant par la surface latérale et aux vibrations mécaniques du fil.

La nature de la décharge influe beaucoup sur l'aspect du phénomène.

Si l'exploseur est relié au pôle positif de la machine de Holtz, le fil s'entoure d'une gaine lumineuse uniforme : il ne se produit pas de division permanente, mais les régions brillantes se déplacent constamment.

Quand l'exploseur est relié au pôle négatif, le fil présente une lueur intense qui reste fixée là où elle est apparue : si elle s'est divisée, la division ne se modifie plus.

La longueur du fil isolé, la longueur du fil qui relie l'exploseur à la machine n'ont aucune influence sur le phénomène. La division reste aussi la même si on met en communication l'extrémité libre du fil avec l'armature intérieure d'une bouteille de Leyde.

Ces observations tendent à montrer déjà que le phénomène n'est pas causé par les oscillations électriques et qu'il faut l'attribuer plutôt aux vibrations mécaniques.

Il est à remarquer que le fil effectue des oscillations assez prononcées chaque fois qu'une étincelle éclate à l'exploseur. D'autre part, quelle que soit la division du fil, les extrémités pincées dans les supports sont toujours brillantes : aux nœuds des vibrations mécaniques correspondraient donc les régions brillantes et aux ventres, les régions obscures.

Le nombre des régions brillantes et obscures dépend de la longueur de l'étincelle : il est d'autant plus grand que l'étincelle est plus courte. Quand les deux boules de l'exploseur se touchent, le fil se recouvre de points brillants.

Si on dispose à la suite l'un de l'autre deux fils semblables dont les longueurs sont dans le rapport de 1 : 2, le nombre de ventres observé sur chaque fil est proportionnel à sa longueur :

si l'un en présente 4, 6... l'autre en présente 2, 3...

La hauteur du son rendu par le fil est inversement proportionnelle à la longueur de l'étincelle : le nombre de vibrations est égal à celui des étincelles. M. L.

Sur un nouveau principe phonographique, Un phonographe électrochimique, par **W. Nernst** et **R. v. Lieben**. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VII, p. 533, 4 avril 1901.

Au lieu d'utiliser, comme dans le phonographe Poulsen, les actions magnétiques des courants microphoniques, Nernst et Lieben ont eu simultanément l'idée de s'adresser aux actions électrochimiques. La figure 1 donne en principe

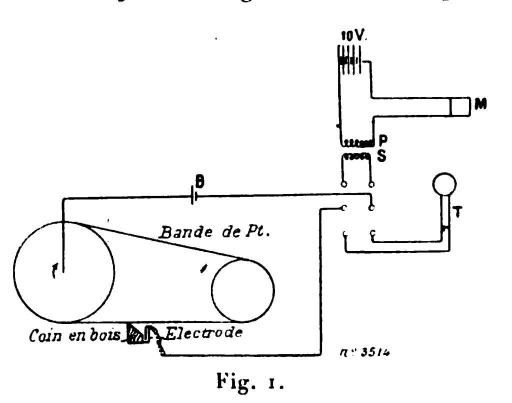


Fig. 1.

la disposition adoptée par ces auteurs : une bande de platine sans fin enroulée sur deux poulies est mise en mouvement à l'aide d'un moteur, Sur cette bande vient appuyer un coin en bois imbibé de l'électrolyte renfermé dans une petite cuve en verre qui contient également une électrode reliée à un basculeur. M est le microphone relié au primaire P d'un transformateur et actionné par cinq accumulateurs. Pour l'inscription, le basculeur est relié au secondaire S du transformateur; et pour la reproduction, au téléphone T. Une batterie B à tension variable peut être introduite dans le circuit suivant les besoins.

Sous l'influence des courants microphoniques la lame de platine polarise galvaniquement et l'expérience montre que la reproduction réussit complètement, avec une netteté et un nombre de répétitions variables avec l'électrolyte employé.

Mais on remarque, contrairement à toute attente, que, pour la reproduction, il est nécessaire d'introduire une force électromotrice supplémentaire dans le circuit du téléphone, et que au moins dans certaines limites, l'audition est d'autant meilleure que le courant est plus fort.

Ce phénomène n'est évidemment pas compatible avec la conception que les courants qui agissent sont uniquement ceux provenant de la décharge d'une électrode polarisée. Dans ce cas, en effet, l'introduction d'une force électromotrice constante dans le circuit ne devrait pas avoir d'influence sensible puisque seules les variations de courant actionnent le téléphone.

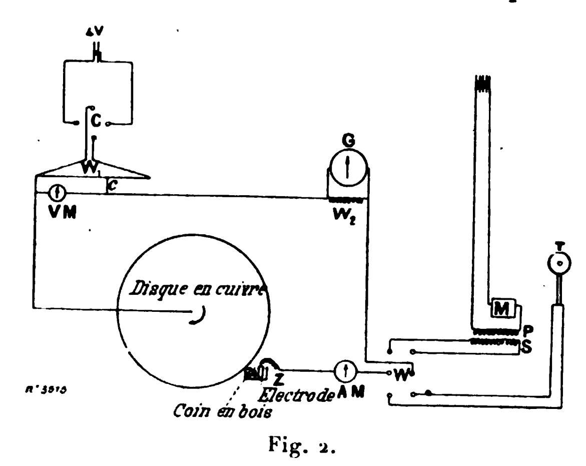


Fig. 2.

Il pourrait être expliqué par des variations de résistance de passage. Cependant il est difficile de supposer que la polarisation d'hydrogène ou d'oxygène au platine occasionne une variation sensible de résistance. D'autre part, les mêmes effets s'observent, comme on le verra plus loin, dans des cas où il ne peut pas y avoir de variation de résistance (bande d'argent et solution de cyanure double d'argent et de potassium).

Au point de vue pratique, les auteurs ne croient pas devoir encourager les recherches dans cette voie, quoique, dans certains cas on obtienne des reproductions très nettes.

RECHERCHES DE ROBERT V. LIEBEN

Dans une notice spéciale, l'auteur publie une série d'expériences qu'il a faites sur le nouveau phonographe électrochimique.

Comme la bande de platine de la description précédente se déchirait par suite des courbures, il la remplace (fig. 2) par un disque en cuivre de 2 mm d'épaisseur et 450 mm de diamètre calé sur un axe qui porte également un disque

en fonte qui reçoit son mouvement d'une poulie de friction en caoutchouc, établie sur l'axe d'un petit électromoteur. En déplaçant celui-ci (sur rails) perpendiculairement à l'axe du disque en cuivre, on peut faire varier la vitesse, la poulie de friction attaquant le disque en fonte en des points variables entre le centre et la périphérie. La figure 2 montre la disposition d'ensemble : la cuve électrolytique est un petit vase en verre de dimensions $20 \times 5 \times 10$ mm. Le coin de bois est choisi en hêtre ou en roseau. Un ressort relié à la cuve exerce une certaine pression du coin sur le disque, ce qui est avantageux; la surface de contact du coin est d'environ $0,5 \times 0,75$ mm. La vitesse minima pour une reproduction claire correspond à 60 tours par minute; mais la pureté des sons croît avec la vitesse; sur la périphérie du disque on peut placer un à deux mots. Pour éviter les bruits secondaires pendant la reproduction, on applique avec une légère pression sur la périphérie du disque une compresse en papier buvard imprégné de l'électrolyte qui empêche la formation de pellicules cristallines adhérentes par suite du séchage à l'air.

Le montage diffère de celui ci-dessus décrit par l'emploi d'une résistance W_1 à contact glissant qui permet de compenser la tension de la cuve, le galvanomètre G indiquant alors un courant nul. Pour l'inscription, le courant part de la batterie d'accumulateurs A_1, traverse le commutateur C, d'une part la résistance W_1 et le voltmètre VM, d'autre part, le disque de cuivre, le coin en bois, l'électrode, l'ampèremètre A M, le basculeur à mercure W, le secondaire S de la bobine du microphone, pour revenir ensuite par G au contact glissant C et à la batterie A_1. Les variations de courant produites par l'émission des sons devant le microphone M se superposent au courant constant de la batterie A_1 et font varier son intensité.

Le rapport de transformation de la bobine P S n'est pas sans influence. Dans les essais effectués ici, il a été trouvé bon pour une valeur de $\frac{1}{80}$. Les résistances du microphone et du téléphone T étaient choisies aussi faibles que possible. On obtient de très mauvais résultats en plaçant le microphone directement dans le circuit de la batterie A_1 car le courant est alors trop faible pour le microphone qui n'a plus la sensibilité nécessaire, et la densité de courant devient trop élevée au contact du disque et il se produit des bulles gazeuses qui causent des troubles.

Robert v. Lieben a effectué à l'aide de l'appareil ainsi monté les quelques expériences suivantes, en vue de déterminer la théorie du phénomène.

Premier essai. — Solution normale de sulfate de cuivre. Tension adoptée pour l'inscription et la reproduction, 4 volts.

a. — Solution neutre; la cathode était le disque en cuivre, et l'anode, une électrode en cuivre également. La reproduction s'effectuait 6 à 8 fois clairement, puis s'effaçait.

b. Solution acide (H^2SO^4); mêmes pôles que ci-dessus.

La reproduction n'a lieu qu'une ou deux fois, et faiblement; des troubles sont occasionnés par le cuivre métallique qui s'écaille.

c. Solution alcaline (KOH). La reproduction réussit 30 à 40 fois, même avec de très petites tensions.

d. Les 3 cas précédents étaient répétés en inversant le courant, la tension étant toujours 4 volts; le disque de cuivre s'oxydait.

On n'obtenait ainsi que 3 à 4 auditions.

Il convient de remarquer à propos des cas (*a*) (*b*) et (*c*), que le cuivre séparé, très finement divisé, s'oxyde facilement à l'air et se dissout dans l'acide tandis qu'il n'est pas soluble dans l'alcali.

Deuxième essai. — Solution de sulfate de zinc (3 fois normale). Tension 4 volts.

a. Solution neutre.

1° Cathode, disque de cuivre; anode, électrode en cuivre. La reproduction s'effectue clairement 6 à 8 fois, mais avec une faible intensité. On constate aussi, dans ce cas, que le courant constant est nécessaire.

2° Anode, disque de cuivre; cathode, électrode en cuivre. La reproduction est plus défectueuse que dans le premier cas et disparaît plus rapidement.

b. Solution acide (H^2SO^4). Dans les deux sens du courant, la reproduction se fait mal et une ou deux fois seulement.

c. Solution alcaline (KOH).

1° Cathode, disque de cuivre; anode, électrode en cuivre.

L'audition est très nette et très intense; elle peut s'effectuer 200 à 300 fois de suite sans fai-

blesse sensible. Après ce nombre, l'effacement progressif provient d'une augmentation de la surface de contact du coin en bois sur lequel s'est aggloméré l'hydrate d'oxyde de zinc gélatineux. Après élimination de celui-ci, le téléphone qui était devenu muet, donne à nouveau des auditions nettes. Si on laissait plus longtemps le précipité de Zn $(OH)^2$ sur le coin en bois, il y aurait bientôt effacement complet.

2° Anode, disque de cuivre; cathode, électrode en cuivre.

On n'obtient ici que 10 à 12 répétitions, quelquefois plus ; mais elles sont très peu claires.

A propos de ce deuxième essai, il convient de remarquer que dans les cas (*a*)1, (*b*)1 et (*c*)1, il pouvait se déposer du cuivre en même temps que le zinc, ce qui ramenait en partie dans les conditions du premier essai.

Troisième essai. — Solution de zincate de potassium (obtenue par décomposition de $ZnSO^4$ par KOH et dissolution du précipité dans un excès de KOH).

1° Cathode, disque de cuivre; anode, électrode en zinc.

L'audition est claire et intense; elle se reproduit souvent quelques centaines de fois. L'inscription et la reproduction se faisaient ici sans courant, en compensant seulement la force contre-électromotrice due à la cuve électrolytique. La reproduction réussissait dans les deux sens, mais était meilleure avec le disque comme cathode.

2° En prenant le disque de cuivre comme anode, la reproduction est beaucoup plus défectueuse et disparaît rapidement. L'inscription réussit également dans les deux sens, en introduisant dans le circuit une force électromotrice de 1 à 2 volts; mais la reproduction est bien meilleure avec le disque comme cathode. Lorsqu'on augmente la tension, les sons deviennent beaucoup plus intenses, mais pas proportionnellement. Si on atteint 4 volts, les bruits secondaires provenant des bulles gazeuses occasionnent des troubles. Avec 1 volt, l'intensité du courant atteint environ 0,5 milliampère.

Dans le cas 1° de cet essai, on remarque après quelque temps de passage du courant une diminution de l'intensité des sons, qui s'explique par ce fait que l'électrode en zinc se recouvre de cuivre qui s'oxyde un peu, d'où il résulte une baisse de tension de la cuve électrolytique (la séparation du zinc à la périphérie du disque n'a pas d'importance par suite de la grande surface et des faibles quantités de zinc). En même temps il se produit une augmentation de la résistance intérieure. De telle sorte que si la force électromotrice constante introduite dans le circuit était de 2 volts, la tension totale atteignait 3 volts au début et 2 volts seulement au bout de peu de temps. En inversant le courant, on libérait le zinc du cuivre oxydé déposé à sa surface et on obtenait à nouveau dans le téléphone l'action énergique du début.

Dans le deuxième cas (disque à la cathode), le cuivre du disque entre en solution et la périphérie s'oxyde ce qui explique les défectuosités de reproduction.

Quatrième essai. — Solution de cyanure double d'argent et de potassium dans l'eau.

1° Cathode, disque en argent (le disque de cuivre, argenté); anode, électrode en argent. La reproduction quoique moins intense qu'au troisième essai, est extrêmement nette et peut se faire quelques centaines de fois sans baisse sensible. Ici aussi on peut régénérer l'action par une inversion de courant qui désoxyde l'électrode. L'inscription s'effectue sans introduction de force électromotrice.

2° En plaçant le disque d'argent à l'anode, les effets sont très faibles et on peut à peine faire une ou deux répétitions.

L'inscription réussit également bien dans les deux sens, mais la reproduction est beaucoup meilleure avec le disque d'argent comme cathode. L'intensité des sons ne croît ici que lentement avec la tension, le maximum ayant lieu pour 4 à 5 volts. L'intensité du courant, qui est de 0,4 milliampère pour 1 volt, atteint alors une valeur 10 à 12 fois plus grande.

On remarque dans le cas 1° de cet essai que l'intensité baisse très vite, peut-être à cause de l'augmentation de résistance résultant de l'oxydation de l'électrode.

Ce qui est remarquable dans le cas 2° c'est que la reproduction est plus mauvaise quand l'argent du disque se dissout. Comme une oxydation de l'argent à l'air est tout à fait invraisemblable, on n'est pas en droit d'invoquer une variation de la résistance de passage.

Cinquième essai. — Solution d'iodure de potassium (5 fois normale) dans l'eau.



1° Cathode, disque en argent; anode, électrode en platine.

La reproduction est beaucoup plus défectueuse que dans le cas 2° de l'essai précédent, et le dégagement d'hydrogène cause des bruits intenses qui couvrent l'action intelligible.

2° Anode, disque en argent; cathode, électrode en platine.

Beaucoup plus nette et plus intense, la reproduction peut s'effectuer 10 à 15 fois.

L'inscription, dans ces deux derniers cas, réussit également bien dans les deux sens, pour une tension de 2 volts. La durée et la pureté de reproduction sont très faibles. L'intensité atteint 4 à 5 milliampères pour 1 volt.

Dans le premier cas, où le dégagement d'hydrogène produit des troubles, on remarquera que le platine n'étant pas attaqué, il n'y a variation ni de la tension, ni de la résistance.

Dans le deuxième cas, comme l'iodure d'argent formé (il s'agit seulement de quantités minimes) ne pouvait pas se dissoudre rapidement, on pouvait attendre ici des variations de résistance plus considérables. Or on trouve une reproduction très faible, ce qui prouve que les variations de résistance ne jouent pas le rôle principal.

Remarques générales. — De ces recherches, on peut conclure que l'explication des phénomènes par les actions de polarisation pure est insoutenable et que les effets ne sont pas bien compatibles dans tous les cas avec la supposition de variations de résistance de passage. Une troisième hypothèse est basée sur la variation observée par Edison et par d'autres auteurs [1] du frottement aux électrodes polarisées. On peut penser que dans ces recherches, le frottement variable, par suite de la polarisation, entre le disque de cuivre et l'électrolyte est la cause d'une variation correspondante de la section transversale de la gouttelette de contact (entre le coin et le disque), ce qui explique la reproduction. Mais cette conception n'est qu'une simple hypothèse, car la variation du frottement n'a été observée jusqu'ici qu'aux électrodes polarisées avec les gaz, tandis que, dans la plupart des essais ci-dessus mentionnés, il n'y a aucun dégagement gazeux. Il est possible que ces différentes causes agissent en même temps et superposent leurs effets.

Lorsqu'on veut effacer l'inscription, il suffit de passer sur la périphérie du disque une compresse imbibée d'acide. On obtient encore de meilleurs résultats en la reliant à un pôle. On couvre ainsi par électrolyse les légères variations produites antérieurement, cette action pouvant être comparée à celle d'un pinceau.

L. Jumau.

(1) Arons. *Wied. Ann.*, t. XLI, p. 473, 1890.

Interrupteur électrolytique Simon à orifices variables dit interrupteur à plaques, construit par **E. Ruhmer**, de Berlin.

Le premier modèle d'interrupteur Simon, construit par Siemens et Halske A-G, a été décrit dans ce journal en même temps que le principe de l'appareil [1]. Il présente un grave défaut; pendant le fonctionnement, l'électrolyte s'accumule dans la cellule interne, puis retombe dans le compartiment extérieur dès que le niveau a atteint une ouverture ménagée dans la partie supérieure du diaphragme. Il en résulte des dérivations qui absorbent inutilement de l'énergie; en outre, il y a à redouter que des étincelles, en suivant ce même chemin, n'aillent provoquer l'explosion du mélange détonant rassemblé dans le haut de l'appareil. Il semble naturel d'admettre que cette irrégularité dans le fonctionnement provient des inégalités de forme et de volume des deux cellules électrolytiques; et, en effet, le second modèle d'interrupteur Simon où ces deux cellules sont semblables, offre une marche bien régulière; mais il n'a gnère été utilisé jusqu'ici que pour les travaux de laboratoire de son inventeur. Ernst Ruhmer, de Berlin, lui donne la forme pratique suivante. Il réalise deux récipients plan-cylindriques, en porcelaine, rigoureusement identiques, qu'il assemble ensuite par leurs faces planes au moyen d'écrous et de boulons B (fig. 1). Cette adaptation est des plus faciles grâce aux pattes dont sont munies les deux portions de l'appareil. Des ouvertures circulaires C, pratiquées en regard dans chaque cloison, mettent les deux récipients en communication; mais on peut intercepter cette dernière, ou du moins la réduire à volonté, en glissant entre les deux cloisons un disque mince de porcelaine D,

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXVI, p. 15, 5 janvier 1901.

percé d'un ou plusieurs trous circulaires très petits qui jouent le même rôle que le fil de platine du Wehnelt.

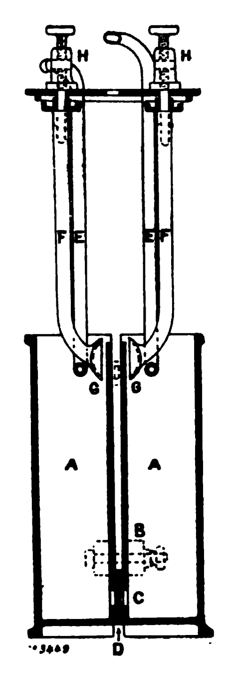


Fig. 1.

L'obtention d'une étanchéité parfaite en C ne présente aucune difficulté de construction ; ce

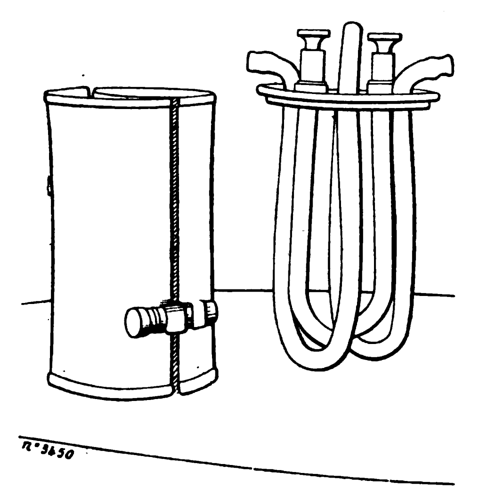


Fig. 2.

qui permet de varier le diamètre des trous, au cours d'une expérience, par la substitution rapide d'une plaque à une autre ; d'où le nom d'interrupteur à plaques donné à cette modification de l'interrupteur primitif.

L'eau acidulée est toujours maintenue au-dessous de 70 à 80° C. par un courant d'eau froide circulant dans un serpentin rudimentaire E en porcelaine, formé de deux tubes en U logés dans chaque compartiment (fig. 2). On les adapte au couvercle de l'appareil ainsi que les bornes H H, sur lesquelles sont vissées les électrodes en plomb FF, qui se prolongent jusqu'à l'orifice C. Il est avantageux, pour diminuer la résistance intérieure de l'élément, de les terminer par une projection hémisphérique G d'un diamètre un peu supérieur à celui de la tige. Tous ces accessoires s'enlèvent d'un seul coup avec le couvercle. Celui-ci est garni intérieurement d'une plaque isolante, de sorte qu'il ne peut se produire entre les électrodes, ni court-circuit, ni étincelles. Toutes les matières employées sont inattaquables par l'acide sulfurique ; les parties métalliques, comme les bornes ou les vis, peuvent être protégées par une enveloppe en ébonite. Cet interrupteur, comme le premier modèle d'ailleurs, fonctionne très bien sur les circuits à courants alternatifs de haute tension. Une variante consiste à introduire les électrodes par côté ; elles baignent alors complètement dans le liquide.

Ernst Ruhmer a entrepris une série d'expériences destinées à mettre en évidence les qualités de l'un et l'autre appareil [1]. Un interrupteur à orifice avait été obligeamment mis à sa disposition par la maison Siemens et Halske. Ses dimensions étaient :

Diamètre extérieur.	180 mm
Hauteur.	266 » ;

Celles des électrodes en plomb étaient :
1° Electrode extérieure en forme d'U

Longueur. . . . 130 + 150 + 130 =	410 mm
Largeur	74 »
Épaisseur.	2 »
Surface totale conductrice.	618 cm²

2° Électrode intérieure, sous forme de barre méplate :

Longueur.	115 mm
Largeur	33 »
Épaisseur.	3 »
Surface totale conductrice	84 cm²

En général, le compartiment extérieur n'est

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 458, 30 mai 1901.

rempli qu'aux trois quarts ; dans ces conditions, la distance du couvercle au niveau du liquide est de 66 mm ; celle de l'ouverture supérieure du diaphragme, de 42 mm. L'électrode intérieure ne plonge que de 98 mm dans l'eau acidulée, offrant ainsi une surface utile de 71,5 cm².

L'appareil monté conformément à ces prescriptions ne put fonctionner que quelques instants. Le liquide eut bientôt envahi tout le compartiment intérieur, créant des courts-circuits qui altéraient les mesures d'intensité ; de plus, l'expérience prolongée dans ces conditions défectueuses se termina par une explosion.

Il fallut donc abaisser le niveau de l'électrolyte à un point tel que son ascension complète dans la deuxième cellule n'eut pas le temps de s'effectuer pendant les trois minutes que duraient les essais.

Après cette petite modification, l'interrupteur Siemens et Halske, ne renfermait plus que 4,15 litres de solution, soit les trois cinquièmes du volume total. La distance du couvercle au niveau du liquide était 103 mm ; celle du trou supérieur du diaphragme, 79 mm ; la cathode n'était plus mouillée que sur une longueur de 61 mm, sa surface utile étant réduite à 45 cm².

Entre l'orifice du diaphragme et l'anode, l'écart était de 70 mm.

Ruhmer avait donné à son appareil les constantes suivantes :

Diamètre	92 mm
Hauteur	170 »
Épaisseur des électrodes découpées dans un anneau de 50 mm de diamètre	2,5 »
Surface utile	43 cm²

Les deux récipients contenaient ensemble 0,5 litre d'eau acidulée ; la distance du couvercle au niveau du liquide était de 42 mm ; celle des extrémités des électrodes à l'orifice, 13 mm. L'électrolyte avait été préparé avec de l'acide sulfurique chimiquement pur et avait une densité de 1,2. Le diamètre des orifices, dans les deux cas, était de 1,72 mm.

La première série d'expériences avait pour but d'établir la résistance intérieure de chaque appareil ; Ernst Ruhmer trouva :

Interrupteur Siemens et Halske	9,2 ohms
Interrupteur à plaques	8,9 »

Pour se rapprocher le plus possible des conditions de la pratique, dans la deuxième série d'essais, les deux interrupteurs furent montés sur une même bobine capable de donner 25 cm d'étincelle, mais dont la distance explosive fut ramenée d'abord à 18 cm. Un ampèremètre calorifique était placé en série avec le circuit primaire ; en dérivation aux bornes de l'interrupteur, on avait installé le compteur d'interruptions. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant

CONSTRUCTEUR	S et H	R	S et H	R	
Température initiale	12,8°	11°	16,5°	16,25°	centigrades
Intensité du courant	5,5	6,3	7,4	8,4	ampères
Durée de l'expérience	3	1	2	1	minutes
Température finale	17,3°	20°	22,2°	38,1°	centigrades
Interruptions par seconde	160	225	400	580	
Etincelle maxima	205	220	225	236	millimètres
Dépense d'énergie totale	605	693	1628	1848	watts
Dépense dans l'interrupteur	445,8	373,1	900	879	watts
Perte en pour cent	73,5	54,6	55,3	47,5	pour cent
Rendement en pour cent	26,5	45,4	44,7	52,5	pour cent

Ces chiffres montrent que la supériorité de l'interrupteur construit par E. Ruhmer est incontestable. Les étincelles, plus nombreuses et plus régulières, sont en même temps plus longues, ou autrement dit à une plus haute tension. Le fonctionnement se distingue aussi par son économie comme le montrent les dernières lignes du tableau précédent. Enfin, le niveau de l'électrolyte reste constant dans les deux cellules, quelle que soit la durée des expériences ; on est donc à l'abri des accidents qui peuvent survenir avec l'interrupteur Siemens et Halske. L'ascension du liquide dans le diaphragme a, en outre, l'inconvénient de donner des étincelles très irrégulières ; en effet, la pression hydrostatique qui en résulte empêche la vaporisation

de l'eau et, par suite, la formation de la gaine gazeuse isolante ; les interruptions cessent de se produire. C'est du reste le grave défaut des interrupteurs Wehnelt à fil de platine. E. Ruhmer a exécuté des expériences très concluantes à ce sujet ; elles ont été reproduites dans l'*Eclairage électrique*, t. xxv, p. 88, du 13 obtobre 1900. J. Becker.

Méthode pour la détermination rapide des harmoniques par **J. Fischer-Hinnen.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 393, 9 mars 1901.

Nous examinerons d'abord le cas où une courbe périodique se compose de la courbe fondamentale et d'une autre courbe de fréquence double.

Une onde de ce genre peut se représenter par la formule

$$E = A_1 \sin \alpha_1 + A_2 \sin 2(\alpha_1 + \alpha_2).$$

Pour trouver l'harmonique, nous additionnerons les ordonnées E_1 et E_2 de points A et B distants de 180°. La figure 1 montre que dans ce

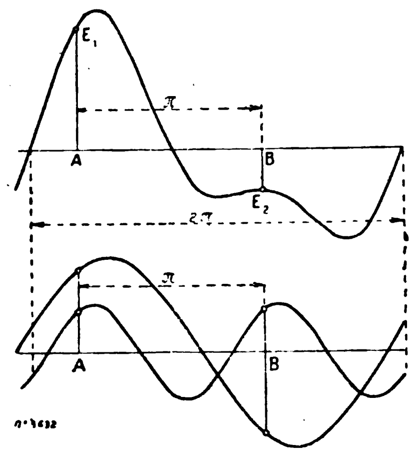


Fig. 1.

cas les ordonnées de la courbe principale se détruisent tandis que les ordonnées de l'harmonique s'ajoutent. Or, elles sont égales. On obtiendra donc une ordonnée quelconque de l'harmonique en additionnant les ordonnées de 2 points décalés de 180° et en divisant par 2 ([1]).

Nous examinerons ensuite le cas où l'onde résultante provient de l'onde principale et d'une harmonique de fréquence triple. On éliminera l'ordonnée principale en additionnant les ordonnées E_1 E_2 E_3 de trois points A, B, C distants de 120° (fig. 2); or la somme des sinus de 3 angles distants de 120° est nulle. L'ordonnée de la troisième harmonique est alors $\frac{E_1 + E_2 + E_3}{3}$. Si la courbe principale avait en outre une harmonique de fréquence double, le calcul montrerait facilement que la somme des trois ordonnées correspondantes est nulle.

Pour trouver une harmonique quelconque, nous représenterons la courbe par la série de Fourrier

$$E = A_1 \sin(\alpha + \alpha_1) + A_2 \sin 2(\alpha + \alpha_2) + A_3 \sin 3(\alpha + \alpha_3) + \ldots \quad (1)$$

l'angle α se rapportant à un point d'ordonnée o de la courbe totale. Soit à trouver un point de l'harmonique $n^{\text{ème}}$. On partage une période partant d'un point arbitraire en n parties égales et on additionne les ordonnées de ses n points. On a

$$E_1 = A_1 \sin(\alpha + \alpha_1) + A_2 \sin 2(\alpha + \alpha_2) + A_3 \sin 3(\alpha + \alpha_3)$$

$$E_2 = A_1 \sin\left(\alpha + \alpha_1 + \frac{2\pi}{n}\right) + A_2 \sin 2\left(\alpha + \alpha_2 + \frac{2\pi}{n}\right)$$

. . . .

$$E_n = A_1 \sin\left[\alpha + \alpha_1 + \frac{2\pi}{n}(n-1)\right] + A_2 \sin 2\left(\alpha + \alpha_2 + \frac{2\pi}{n}(n-1)\right)$$

D'où en ajoutant

$$\frac{E_1 + E_2 + E_3 + \ldots + E_n}{n} = A_n \sin n(\alpha + \alpha_n) + A_{2n} \sin 2n(\alpha + \alpha_{2n}) + A_{3n} \sin 3n(\alpha + \alpha_{3n}) + \ldots$$

Toutes les autres sommes de sinus sont nulles.

La dernière égalité montre que les valeurs des ordonnées ainsi trouvées peuvent aussi comprendre les ordonnées d'harmoniques d'un ordre plus élevé, on ne pourrait donc pas déterminer de cette façon la courbe fondamentale, car pour $n = 1$ on retombe sur l'égalité (1). Mais pour les autres harmoniques, ce procédé convient parfaitement ; dans toutes les courbes de machines, les harmoniques paires disparaissent; quant aux harmoniques de rang impair, elles diminuent rapidement quand leur ordre augmente, et il suffit d'un nombre de termes assez faibles à l'égalité (1) pour représenter les courbes les plus compliquées. Si donc nous calculons la

([1]) Le calcul nous donne le même résultat :

$$E_1 + E_2 = A_1 \sin \alpha_1 + A_2 \sin 2(\alpha_1 + \alpha_2) + A_1 \sin 2(\alpha_1 + \pi) + A_2 \sin 2(\alpha_1 + \alpha_2 + \pi) = 2A_2 \sin 2(\alpha_1 + \alpha_2).$$

3e ou 5e harmonique, il est possible que l'on obtienne en même temps la 9e et la 15e, mais la 7e harmonique sera déjà assez pure.

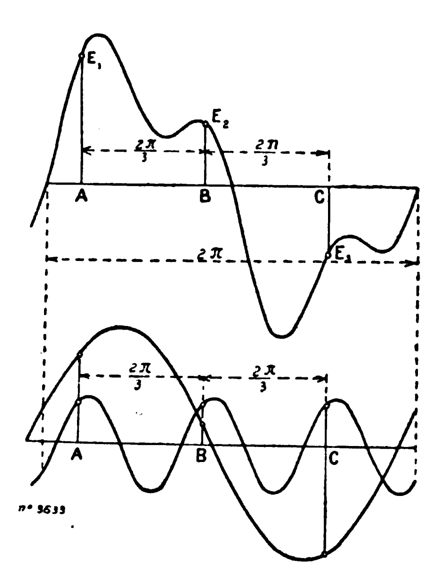


Fig 2.

Nous montrerons plus loin comment on calcule exactement la 3e et la 5e harmonique. Pour toutes les autres il suffit de poser :

$$\frac{E_1 + E_2 + E_3 + \ldots\ldots + E_n}{n} = A_n \sin n(\alpha + \alpha_n)$$

en négligeant les autres termes. Autrement dit : pour obtenir un point de la $n^{\text{ème}}$ harmonique, on additionne les ordonnées de n points dont les abscisses diffèrent de $\frac{2\pi}{n}$ et on divise la somme par n.

Il suffit d'ailleurs de déterminer deux points de l'harmonique pour la caractériser. Si nous prenons par exemple deux points distants de $\frac{\pi}{2n}$ (l'arc étant mesuré sur la courbe fondamentale), on a pour ces deux points.

$$e_n = A_n \sin n(\alpha + \alpha_n)$$
$$e_n^2 = A_n^2 \sin 2 n(\alpha + \alpha_n)$$
$$e'_n = A_n \sin n\left(\alpha + \alpha_n + \frac{\pi}{2n}\right) = A_n \cos n(\alpha + \alpha_n)$$
$$e'^2_n = A_n^2 \cos 2n(\alpha + \alpha_n)$$

d'où

$$A_n = \sqrt{e_n^2 + e'^2_n}\,.$$

La seule inconnue est alors α_n. Pour la déterminer, nous ferons coïncider l'ordonnée e_n avec le zéro de la courbe principale. Alors $\alpha = 0$ et

$$\sin n\,\alpha_n = \frac{e_n}{\sqrt{e_n^2 + e'^2_n}}$$

Pour la 3e et la 5e harmonique, il faudra faire une correction, car les grandeurs e_n et e'_n renfermeront aussi les ordonnées de la 9e ou 15e harmonique qui ne sont pas toujours négligeables (1).

Dans des cas particuliers le calcul se simplifie. Pour toutes les courbes symétriques, on a $\alpha_n = 0$. Il suffit alors d'additionner les ordonnées de n points distants de $\frac{a}{n}$ ayant $\frac{a}{4n}$ comme première abscisse et de diviser la somme par n pour avoir directement A_n. La correction relative à la 3e et à la 5e harmonique est ici très simple. Les amplitudes de toutes les courbes dont la fréquence est un multiple de 3 ou de 5 s'ajoutent à l'amplitude de l'onde principale ou s'en retranchent. Par exemple pour avoir la vraie valeur de A_3, on ajoute à la valeur calculée A_9 et A_2, et on retranche A_{15}. Pour avoir A_5, on ajoute A_{21} et on retranche A_{25}.

(1) On a :

$$e_3 = A_3 \sin 3(\alpha + \alpha_3) + A_9 \sin 9(\alpha + \alpha_9) + A_{15} \sin 15(\alpha + \alpha_{15}) + A_{21} \sin 21(\alpha + \alpha_{21}) = A_3 \sin 3(\alpha + \alpha_3) + e_9 + e_{15} + e_{21}$$
$$A_3 \sin 3(\alpha + \alpha_3) = e_3 - e_9 - e_{15} - e_{21}$$
$$e'_3 = A_3 \sin 3\left(\alpha + \alpha_3 + \frac{\pi}{2.3}\right) + A_9 \sin 9\left(\alpha + \alpha_9 + \frac{\pi}{2.3}\right) + A_{15} \sin 15\left(\alpha + \alpha_{15} + \frac{\pi}{2.3}\right) + A_{21} \sin 21\left(\alpha + \alpha_{21} + \frac{\pi}{2.3}\right)$$
$$= A_3 \cos 3(\alpha + \alpha_3) - A_9 \sin 9\left(\alpha + \alpha_9 + \frac{\pi}{2.9}\right) + A_{15} \sin 15\left(\alpha + \alpha_{15} + \frac{\pi}{2.15}\right) - A_{21} \sin 21\left(\alpha + \alpha_{21} + \frac{\pi}{2.21}\right)$$
$$= A_3 \cos 3(\alpha + \alpha_3) - e'_9 + e'_{15} - e'_{21}$$
$$A_3 \cos 3(\alpha + \alpha_3) = e'_3 + e'_9 = e'_{15} + e'_{21}$$
$$A_3 = \sqrt{(e_3 - e_9 - e_{15} - e_{21})^2 + (e'_3 + e'_9 - e'_{15} + e'_{21})^2}$$
$$\sin 3\alpha_3 = \frac{e_3 - e_9 - e_{15} - e_{21}}{A_3}$$
$$A_5 = \sqrt{(e_5 - e_{15} - e_{25})^2 + (e'_5 + e'_{15}\, e'_{25})_2}$$
$$\sin 5\alpha_5 = \frac{e_5 - e_{15} - e_{25}}{A_5}\,.$$

Comme exemple nous analyserons une courbe relevée sur une machine monophasée de 600 chevaux (fig. 3).

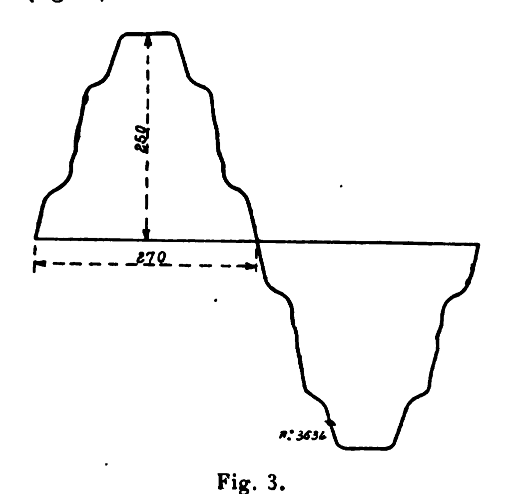


Fig. 3.

n	3	5	7	9	11
A_n	— 16,6	— 2	+ 2,6	+ 4,66	+ 15,45
13	15	17	19	21	23
+ 4,3	— 3,46	+ 0,35	0	+ 0,193	+ 1,43

On a donc

$$A_3 = -16{,}6 + 4{,}66 + 0{,}193 - (-3{,}46) = -8{,}287)$$
$$A_5 = -2 + (-3{,}46) = -5{,}46.$$

La courbe fondamentale est donnée par l'égalité (1).

$$250 = A_1 \sin 90^\circ + A_3 \sin 3.90^\circ + A_5 \sin 5.90^\circ + A_7 \sin 7.90^\circ + A_9 \sin 90.9^\circ,$$

d'où

$$A_1 = 254{,}1.$$

E. B.

Variation de la conductibilité électrique des dissolutions de sels métalliques dans l'anhydride sulfureux liquide avec la température au-dessus et au-dessous du point critique, etc., par **A. Hagenbach**. *Dr. Ann.*, t. V, p. 276-313, juin 1901.

L'anhydride sulfureux liquide est susceptible de dissoudre certains sels métalliques et les dissolutions sont des électrolytes (Cf. Walden, *Chem. Ber.*, XXXII, p. 2852, 1899). Les iodures sont les sels qui se dissolvent le plus facilement, les bromures sont moins solubles ; les chlorures et les sulfates le sont à peine. M. Hagenbach s'est proposé d'étudier la conductibilité de ces dissolutions au voisinage de la température critique et au-dessus de cette température. Comme les résistances sont en général très grandes, il les a mesurées dans quelques cas particuliers par la méthode du pont et du téléphone et le plus souvent par la mesure de l'intensité en employant une grande force électromotrice et un galvanomètre de sensibilité moyenne.

Le récipient est formé par un tube capillaire à parois épaisses portant à une extrémité une tubulure latérale destinée à l'introduction du gaz. Les électrodes en platine, écartées de 1 à 10 mm, se trouvent vers l'autre extrémité.

Pour décider si au-dessus du point critique la masse fluide est homogène ou non, on mesure la résistance avec les électrodes à la partie supérieure ou à la partie inférieure pendant le chauffage du tube. Les nombres trouvés montrent nettement que la conductibilité, même après la disparition du ménisque, est plus grande quand les électrodes se trouvent pendant le chauffage à la partie inférieure du tube. Si on retourne ensuite le tube dans le bain, la conductibilité devient constante dans tout le volume. Du reste, si on abandonne le tube à lui-même, sans le retourner, la conductibilité finit par devenir uniforme, au bout d'un temps plus ou moins long.

La différence de conductibilité constatée au moment même de la disparition du ménisque provient sans doute des différences de concentration qui résultent de l'évaporation par la surface du ménisque ; quand ces différences ont disparu par suite soit du retournement du tube, soit des courants de convection ou de la diffusion, la conductibilité devient uniforme.

La conductibilité subsiste donc au-dessus de la température critique ; elle existe aussi dans la vapeur saturante au-dessous de la température, et même dans la vapeur surchauffée.

La conductibilité diminue quand la température augmente, sauf celle de la dissolution d'iodure de potassium entre 18 et 87°. Entre 100 et 140°, le coefficient de variation est d'environ 0,02 par degré. Si au contraire on calcule ces coefficients entre la température critique et une température plus basse de 1 ou 1°,5, on trouve des nombres voisins de 0,60.

Les valeurs absolues de ces nombres ne sont certainement pas très exactes, mais elles suffisent à établir la variation rapide de la conductibilité au voisinage du point critique. M. L.

Le Gérant : C. NAUD.



Tome XXVIII. Samedi 21 Septembre 1901. 8e Année. — N° 38

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

DISPOSITIFS

L'application des ondes électriques au problème des communications à petite distance (application dénommée couramment « télégraphie sans fil »), a été suivie d'un tel succès au cours des essais entrepris par M. Marconi, et de ceux, non moins intéressants menés à bien par M. Tissot, que, de tous côtés les inventeurs se sont ingéniés à utiliser les phénomènes qu'emploie la télégraphie sans fil pour résoudre les très nombreux cas particuliers que comprend le problème des communications à petite distance.

Dans les dispositifs de réception c'est toujours le cohéreur de M. Branly ou un dispositif réalisant un contact imparfait qui est mis à contribution. — Les transmetteurs, d'autre part, empruntent constamment le secours d'un oscillateur, qu'il soit à plaques ou à sphères, du genre de ceux imaginés par Hertz, ou qu'il revête les formes qu'ont successivement données à cet appareil M. Lodge, M. Righi, M. Bose, etc.

L'effort des inventeurs a eu surtout pour objet la recherche de mécanismes empruntant comme moyen d'action des électro-aimants commandés par des relais dont le cohéreur ferme le circuit, sous l'action des ondes. Tantôt ces électro-aimants actionnent des leviers, tantôt ils agissent sur des déclics permettant à un mouvement d'horlogerie d'entrer en jeu. Le tout est combiné de manière à produire, par des procédés souvent fort simples et fort ingénieux, quelquefois par des dispositifs un peu compliqués et trop délicats pour être pratiques, les mouvements que réclame la solution du problème étudié par l'inventeur.

Nous analyserons dans cet article un certain nombre de brevets américains parus au cours de ces dernières années et qui proposent des solutions de questions intéressant soit

les dispositifs actuels de télégraphie sans fil, soit leurs applications à la sécurité des navires.

Détermination de la direction d'où émanent les ondes électriques qui actionnent un récepteur. — Dans un premier brevet [1] M. Isidor Kitsee propose de déterminer cette direction au moyen du dispositif suivant : Le mât A (fig. 1) qui sert à dresser verticalement l'antenne porte à sa partie supérieure quatre plaques métalliques b, b_1, b_2, b_3, supportées par des tiges isolantes a, dirigées suivant les quatre points cardinaux.

Quatre fils, c, c_1, c_2, c_3, joignent ces plaques à des récepteurs, d, d_1, d_2, d_3, communiquant d'autre part au sol f, par les conducteurs d, d_1, d_2, d_3. L'inventeur pense que suivant que les ondes électriques viennent d'un des points cardinaux ou de l'autre, elles affecte-

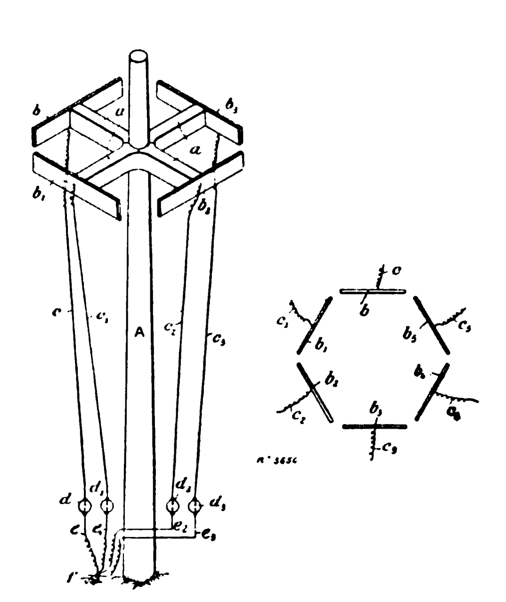


Fig. 1 et 2. — Antenne Kitsee.

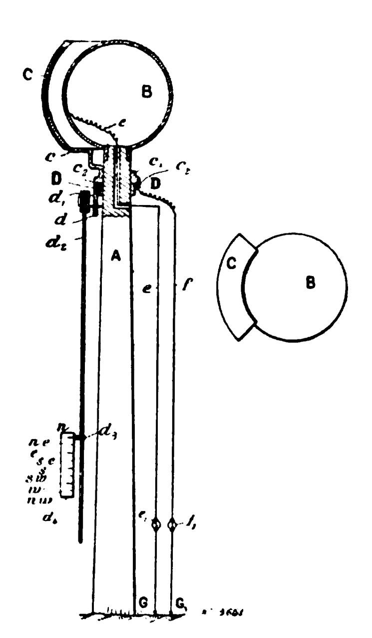


Fig. 3 et 4. — Antenne Kitsee et Wilson.

ront de préférence le récepteur relié à la plaque b placée dans la direction d'où elles émanent. Il propose même d'augmenter le nombre des plaques b, de manière à déterminer d'une manière plus précise l'azimut dans lequel se trouve placé le poste transmetteur. La figure 2 montre un dispositif employant six plaques b reliées à autant de récepteurs.

Il est à craindre que ce dispositif ne fournisse pas dans la pratique le renseignement qu'on lui demande, et que tous les récepteurs soient également impressionnés par les ondes quelque soit l'azimut dans lequel se trouve situé l'oscillateur qui les envoie. D'après les expériences de télégraphie sans fil faites à l'heure actuelle, en particulier d'après l'étude expérimentale de l'antenne faite par M. Tissot, les divers conducteurs dont on munit l'extrémité de l'antenne ne semblent avoir aucune influence sur la portée de l'antenne, pas plus que les formes diverses que l'on donne à cette extrémité. Les ondes sont donc captées à leur arrivée par tout le conducteur servant d'antenne et non pas seulement par l'extrémité de ce conducteur. Vu la proximité des quatre antennes du dispositif de M. Kitsee, il

(1) Brevet américain n° 650 255, du 22 mai 1900.

est très probable qu'elles seront affectées toutes quatre de la même façon par les ondes émises par le transmetteur quelque soit son orientation par rapport à ces antennes.

La même critique s'adresse au dispositif breveté par MM. Kitsee et Wilson [1] qui constitue une variante du précédent et qui est représenté figures 3 et 4. Le mât A supporte à son extrémité une sphère métallique B, reliée par le fil e au récepteur e_1 communiquant en G avec le sol. Un écran C conducteur, emprunté à une portion de sphère concentrique à première et de plus grand rayon, peut se déplacer tout autour de la première sphère à l'aide du mouvement imprimé au collier mobile c_1, qui supporte cet écran, par une chaîne sans fin d_2. L'orientation de l'écran C est indiqué par un index d_3 qui se déplace en regard de repères tracés sur une échelle fixe d_4. Cet écran communique par le fil f à un récepteur f_1 relié en G_1 avec le sol. — Les inventeurs pensent que le mouvement de l'écran C est susceptible de renseigner sur la direction d'où proviennent des ondes actionnant le récepteur e_1, en substituant au fonctionnement de ce récepteur la mise en activité du récepeur f_1 lorsque l'écran aura atteint l'azimut dans lequel se trouve placé l'excitateur des ondes. Pour les raisons indiquées ci-dessus nous pensons que les deux récepteurs seront simultanément affectés par tout transmetteur susceptible d'envoyer utilement des ondes à l'endroit occupé par les dispositifs décrits.

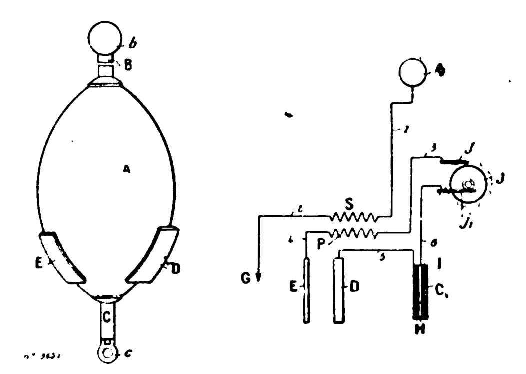


Fig. 5 et 6. — Bouée Kitsee à signaux par ondes hertziennes.

Bouée marine munie d'un transmetteur d'ondes électriques. — M. Kitsee [2] préconise le dispositif suivant comme avertisseur des parages dangereux pour des navires munis de récepteurs d'ondes électriques. Une bouée A (fig. 5), retenue au mouillage par un ancre et une chaîne fixée en c, porte au sommet du mât B, dont le dessin ne figure que les extrémités, une sphère conductrice b. Deux plaques, l'une en charbon D, l'autre en zinc E sont fixées sur les parois inférieures de la bouée. A l'intérieur de la bouée se trouvent les dispositifs représentés par la figure 6. Un transformateur dont le circuit primaire est connecté d'une part à la lame de zinc E, d'autre part, par l'intermédiaire d'un tambour interrupteur J et d'un interrupteur électrolytique I, avec la plaque de charbon D, a son circuit secondaire S en relation avec la sphère b par le fil 1 et avec l'eau par le fil 2 jouant ici le rôle de fil de terre. Le tambour interrupteur J est constitué par un tambour conducteur sur lequel appuie un balai j_1 et un tambour constitué par des segments alternativement conducteurs et isolants sur lequel frotte un second balai j. Les deux tambours solidaires l'un de l'autre ont même axe et sont animés d'un mouvement de rotation produit par un mécanisme d'horlogerie. L'interrupteur électrolytique I est constitué par un fil de platine H isolé et d'un tube conducteur C'. Lorsque le balai j se trouve en contact avec une partie conductrice du tambour sur lequel il frotte, le circuit de la pile formée par les plaques E, D se trouve fermé à travers le primaire, le fil 3, le balai j, le balai j_1, l'interrupteur I et le fil 5. L'interrupteur I fonctionnant, l'inventeur suppose que des ondes électriques seront émises par la sphère b, et pourront actionner des récepteurs d'ondes dont seraient munis des navires passant à proximité de la bouée.

---

[1] Brevet américain n° 651 014, du 5 juin 1900.

[2] Brevet américain n° 651 362, du 12 juin 1900.

Pour plusieurs raisons, on peut affirmer qu'un semblable dispositif sera tout a fait incapable de donner naissance à la moindre émission d'ondes électriques.

Et d'abord, en admettant même qu'on multiplie, comme le propose l'inventeur les couples de plaques E, D dont est flanquée la bouée, la pile obtenue par de semblables éléments sera de force électro-motrice beaucoup trop faible pour faire fonctionner un interrupteur électrolytique. On sait, en effet, que dans les conditions ordinaires de température le régime d'interruption d'un appareil de Wehnelt n'est obtenue qu'à l'aide d'une source d'électricité d'au moins 50 à 60 volts.

Il faudrait donc un nombre de couples de plaques tel que E, D au moins égal à 50 ou à 60, ce qui semble bien peu pratique, en admettant toutefois que le couple charbon, eau de mer, zinc donne une force électromotrice de 1 volt. En second lieu, on ne voit pas dans le dispositif décrit par M. Kitsee où se trouve l'excitateur d'ondes électriques. Le fait de réunir l'une des bornes du secondaire d'un transformateur à une sphère isolée b, l'autre borne à la terre G, ne permet pas de produire des ondes hertziennes. Pour qu'il y ait oscillations, il faut qu'il y ait décharge. Tout au plus se produirait-il dans le dispositif décrit des courants d'induction du genre de ceux étudiés dans des circuits ouverts par Bernsteim et par Mouton. Il est peu probable que de tels phénomènes soient susceptibles d'agir sur un cohéreur à une distance un peu notable.

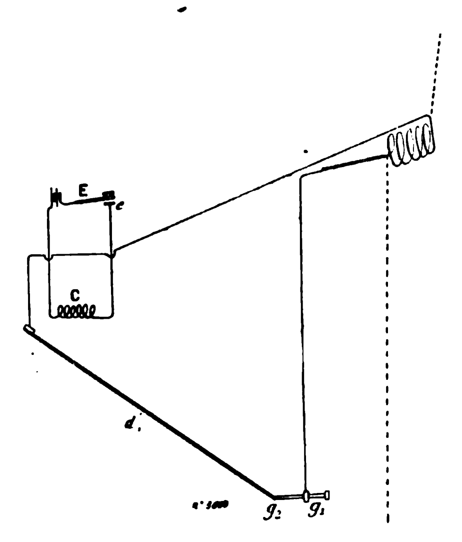


Fig. 7. — Manipulateur Kitsee pour transmetteur d'ondes.

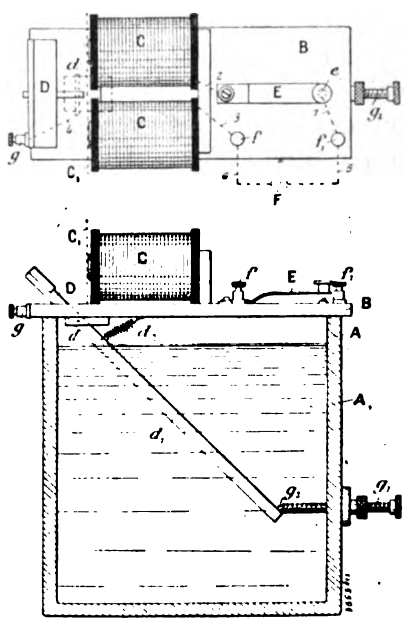


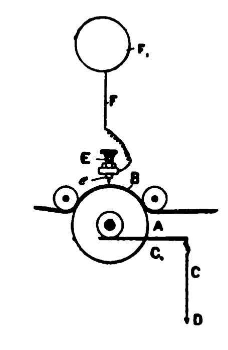
Fig. 8 et 9. — Projection horizontale et coupe verticale d'un manipulateur Kitsee.

Manipulateur pour transmetteur d'ondes électriques. — Le même inventeur propose [1] le dispositif de la figure 7 comme manipulateur pour les appareils utilisant les ondes électriques.

Au repos, le circuit secondaire de la bobine d'induction utilisée est fermé à travers un levier d_1 qui appuie son extrémité g_2 sur une pointe g_1 et dont l'autre extrémité est susceptible d'être attirée par un électro-aimant dont l'enroulement C se trouve être le siège d'un

(1) Brevet américain n° 651 363, du 12 juin 1900.

courant lorsqu'on ferme le contact *e* de la clef Morse E. Les extrémités du circuit secondaire sont reliés en second lieu d'une part au conducteur aérien d'autre part à la terre. Ici encore l'inventeur a omis de disposer un excitateur d'ondes entre les deux bornes du secondaire, excitateur qui se trouverait actionné lorsque le levier d_1 quitte le contact g_1. L'appareil est représenté en projection et en coupe par les figures 8 et 9. Le contact g_2 (fig, 9) est plongé dans un liquide isolant contenu dans une cuve A_1 sur le couvercle de laquelle se trouvent disposés l'électro-aimant C et la clef Morse E.



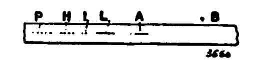


Fig. 10 et 11. — Dispositif Kitsee pour l'inscription électrochimique des ondes hertziennes.

Inscription directe des ondes électriques sur papier-bande préparé chimiquement. — D'après M. Kitsee [1] il serait possible d'enregistrer directement les diverses émissions qui atteignent un récepteur d'ondes électriques sans faire usage ni d'appareil Morse, ni de relais, ni même de cohéreur. Dans le dispositif représenté figure 10, la sphère F_1 est fixée à l'extrémité de l'antenne F, dont l'autre est en contact avec une pointe métallique *e*. Par le jeu d'une vis E, on peut approcher la pointe *e* d'une bande de papier, sans cependant l'amener au contact.

Cette bande de papier B est entraînée par le mouvement d'un tambour métallique A sur le contour duquel elle se moule.

Le tambour est relié au sol D par un balai C_1 et un conducteur C. Les émissions d'ondes électriques de durée différente reçues par l'antenne F s'inscriraient, d'après l'inventeur, sur la bande B et décomposeraient la subtance chimique dont la bande se trouve imprégnée par le seul passage entre la pointe *e* et le tambour A. C'est ainsi qu'aurait été obtenue

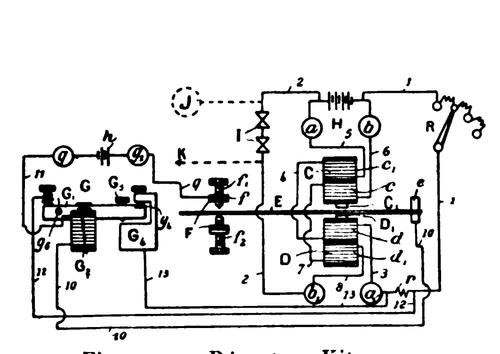


Fig. 12. — Récepteur Kitsee.

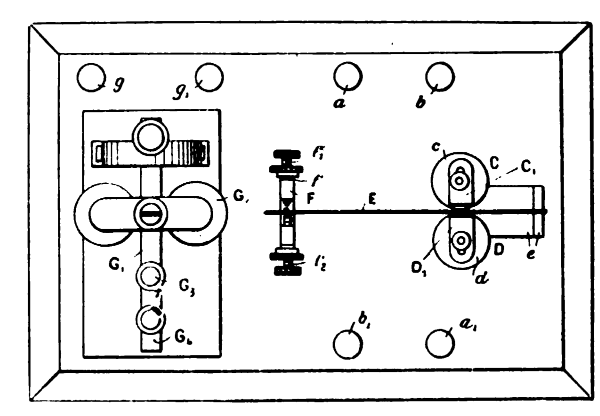


Fig. 13. — Récepteur Kitsee.

l'inscription représentée par la portion de bande de la figure 11. La formule de la dissolution si sensible à l'action des ondes dont doit être imprégné le papier-bande est la suivante : iodure de potassium, 8 parties ; bromure de potassium 32 parties, dextrine, 1 partie ; eau 120 parties.

Dispositif récepteur pour téléfraphie sans fil. — Le dispositif de réception que M. Kitsee a également fait brévété semble plus sérieux que les précédents, bien que pré-

[1] Brevet américain n° 657 222, du 4 septembre 1900.

sentant encore quelques lacunes. Le circuit qui contient le cohéreur se ferme dans un relais polarisé à enroulement différentiel. La figure 12 représente les différentes connexions, entre les diverses parties de l'appareil dont une projection horizontale est donnée par la figure 13, et une projection verticale par la figure 14.

Le relais polarisé est constitué par un aimant permanent *e* en contact avec deux armatures en fer doux sur chacune desquelles sont enroulées deux bobines, c, c_1 sur l'armature C ; d, d_1 sur l'armature D.

Ces armatures sont munies de pièces polaires C_1, D_1 entre lesquelles peut se déplacer la palette E du relais mobile autour d'un axe fixé en *e* et qui peut se porter sur l'un ou l'autre des deux butoirs f_1, f_2. — Aux pôles d'une pile H sont connectés deux circuits : le premier, 2 I 8 d_1 7 c.6, comprend le dispositif qui sert de cohéreur, l'une des bobines, d_1, entourant l'armature D et l'une des bobines, c, entourant l'armature C ; le second, 5 c_1 4 d 3 r 1 R, comprend les deux bobines restantes, c_1 entourant l'armature C, d, entourant l'armature D_1, une résistance fixe r et une résistance variable R. Les enroulements sont combinés de telle sorte que le courant de la pile H circulant dans le premier circuit tend à donner aux pièces polaires C_1 et D_1 une polarité de sens contraire à celle que le courant de la même pile, circulant dans le second circuit, tend à faire naître. — Une seconde pile h peut avoir son circuit fermé à travers les bobines d'un parleur G lorsque la palette du relais se porte du butoir de repos f_2 sur le butoir de travail f_1. Lorsque le parleur est actionné, sa palette met en court-circuit les extrémités de la résistance fixe r qui se trouve insérée dans l'un des circuits du relais.

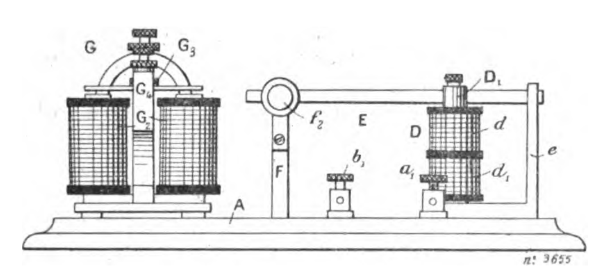


Fig. 14. — Récepteur Kitsee.

Supposons que des ondes parviennent à l'antenne J et se rendant à la terre par le fil K agissent au passage sur le dispositif I qui sert de cohéreur et en réduise notablement la résistance. — Alors qu'aucune onde n'actionne l'appareil, la résistance variable R est réglée de telle sorte que les courants circulant dans les 4 bobines du relais détermine des polarités des armatures qui s'équilibrent exactement, de telle sorte que la palette E s'appuie sur le butoir de repos.

Lorsque les ondes diminuent la résistance du cohéreur I, l'aimantation produite par le circuit comprenant I l'emporte sur celle produite par le second circuit, et la palette E attirée se porte sur le butoir de travail f_1. — Alors le circuit 9 f_1 E e 10 G_2 11 se trouve fermé et la pile h actionne le parleur G. En même temps que la palette de ce parleur se déplace et fait entendre un son, elle ferme le circuit G_4 13 r 12 G_1 G_3, mettant en court-circuit la résistance r. Cette résistance se trouve donc par l'action du parleur comme supprimée de celui des deux circuits du relais qui ne comprend pas le cohéreur I. Or, cette résistance r est calculée de telle sorte qu'elle égale la diminution de résistance que les ondes font subir au cohéreur I, si bien que par la mise en court-circuit de cette résistance r, les deux courants qui parcourent les bobines du relais déterminent des polarités qui s'équilibrent à nouveau et la palette E reprend sa position de repos. S'il en est ainsi le parleur cesse d'être actionné et la résistance r cesse d'être mise en court-circuit. Pour que la palette E ne soit pas alors de nouveau attirée contre le butoir f_1, il faut supposer que pendant ces actions le cohéreur I ait retrouvé sa résistance primitive. C'est sur ce point que le brevet de M. Kitsee est muet ; il n'indique aucun mode de décohésion. Comme le dispositif qui sert de cohé-

reur est constitué par deux pointes de charbon s'appuyant l'une sur l'autre on peut supposer que ce contact réalise un cohéreur à décohésion spontanée. Aucune précaution ne semble prise non plus pour empêcher les étincelles d'extra-courants qui, vu les nombreuses bobines employées dans le dispositif, sont susceptibles de se produire aux contacts des palettes et des butoirs, d'agir sur le cohéreur.

Transmetteur et récepteur automatiques d'ondes électriques susceptibles de prévenir les collisions entre navires. — Ce dispositif breveté par M. Kitsee (1) est susceptible, croyons-nous, à l'aide de quelques modifications et de quelques compléments indispensables de répondre d'une manière pratique au but qu'il se propose d'atteindre. Il a pour objet, sans nécessiter la présence d'un opérateur, d'indiquer la réception d'ondes électriques par la mise en marche d'un avertisseur et de répondre automatiquement à cet envoi d'ondes par l'émission d'oscillations électriques susceptibles d'atteindre à leur tour le navire d'où émane la première émission et d'y faire fonctionner un avertisseur. A cet effet chaque navire doit être muni d'un dispositif identique que les figures 15 et 16 représentent. Le dispositif de la figure 15 est supposé disposé à bord de l'un des deux navires qui se rapprochent. le dispositif de la figure 16 à bord du second navire.

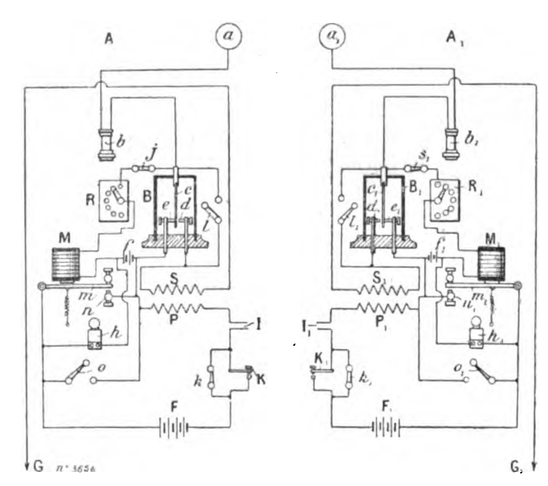


Fig. 15 et 16. — Avertisseur de navires, système Kitsee à ondes hertziennes.

L'antenne terminée par une sphère *a* (fig. 15) communique avec un récepteur d'ondes *b* qui est relié avec une des bornes d'un appareil que l'inventeur nomme *veilleur*. Cet appareil est constitué par un très léger pendule conducteur *c* qui dans la position de repos s'appuie sur un butoir *e* et est susceptible de venir au contact d'un second butoir *d*. Le récepteur *b* est relié au pendule *c* qui communique d'une part, par l'intermédiaire d'une résistance variable R, avec l'électro-aimant d'un relais M lié à l'un des pôles d'une pile *f*, d'autre part, par l'intermédiaire du secondaire d'une bobine d'induction S avec le sol G. Sur chacun de ces deux trajets se trouvent des leviers interrupteurs *j*, *l*. La figure représente le levier *j*, situé sur le premier circuit, fermant ce circuit, alors que le levier *l* qui commande le second circuit est dans la position d'interruption. Le butoir *e* du « veilleur » communique avec le second pôle de la pile *f*. Le butoir *d* est relié au circuit comprenant le secondaire S, en un point situé entre le levier interrupteur *l* et le secondaire, de telle sorte que, lorsque ce levier *l* est dans la position d'interruption (cas de la figure): le pendule *c* ne communique pas avec le butoir *d*. L'une des extrémités du primaire P de la bobine d'induction communique avec l'un des pôles d'une pile F par l'intermédiaire d'un interrupteur I et d'une clef de Morse K.

Un levier interrupteur *k*, qui dans le cas de la figure est fermé, relie les deux contacts de la clef de Morse. De la seconde extrémité du primaire P partent trois conducteurs, l'un se rend au pôle positif de la pile *f*, le deuxième aboutit au butoir de repos *n* du relais M, le

(1) Brevet américain n° 657 224, du 4 septembre 1900.

troisième est mis en relation par l'intermédiaire d'un levier interrupteur *o* (ouvert dans le cas de la figure), d'une part avec la palette *m* du relais, d'autre part avec le second pôle de la pile F. Enfin un avertisseur *h* est inséré entre le pôle négatif de la pile *f* et la palette *m* du relais M.

Les choses étant ainsi disposées, supposons que des ondes électriques soient reçues par l'antenne. Le récepteur *b* étant actionné, l'inventeur suppose que par suite de la différence de potentiel existant entre le pendule *c* et le butoir *d* du veilleur, le pendule se portera sur le butoir, ouvrant alors en *e* le circuit de la pile *f* à travers le relais M. La palette *m* de ce relais, libre d'obéir à l'action du ressort antagoniste se portera alors sur le butoir de repos *n* fermant en même temps le circuit de la pile *f* à travers l'avertisseur *h* et le circuit de la pile F à travers le primaire P et l'interrupteur I.

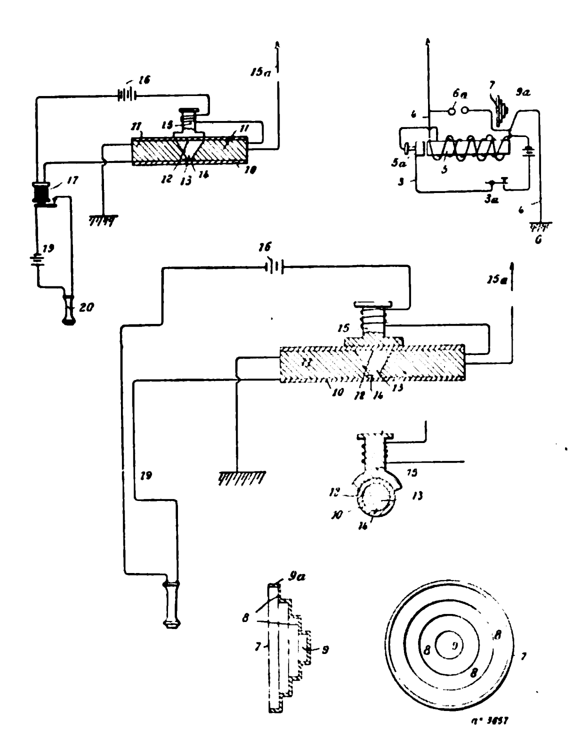


Fig. 17 à 21. — Cohéreurs et oscillateur Collins.

Le courant induit alors dans le circuit secondaire S serait susceptible d'entretenir un excitateur d'ondes, pourvu toutefois qu'on en dispose un convenablement relié à l'antenne, ce que l'inventeur a ici encore complètement omis de faire.

Alors en même temps qu'on serait averti à bord du voisinage d'un second navire, l'appareil répondrait automatiquement à la réception des ondes par une émission destinée à avertir le second navire de la présence du premier.

Il est à remarquer que d'après le dispositif de M. Kitsee le courant induit dans le secondaire se rend à l'antenne à travers le veilleur en suivant le chemin S *d c b a*. Or, il est évident que si le pendule *c* est assez sensible pour se déplacer, sous la seule influence de la différence de potentiel que les ondes reçues par *a* établissent entre *d* et *c*, il sera par contre autrement sensible aux différences de potentiel que ne manquera pas de faire naître entre *c* et *d* le courant induit dans le secondaire S. En se portant alors sur le butoir, il interrompra, en fermant le circuit du relais M, le courant inducteur commandé par la palette *m* de ce relais.

Le dispositif préconisé par M. Kitsee pourrait être modifié en rendant mobile le pendule *c* non plus à la manière dont le propose l'inventeur, sous l'influence des différences du potentiel créées par l'arrivée des ondes, mais en le constituant par la palette d'un relais particulier qui serait actionné lorsque les ondes rendraient conducteur le cohéreur du récepteur. Il serait peut-être bon également d'entourer le contact de *c* et de *d* d'un liquide isolant afin de bien assurer l'interruption du courant induit provenant du secondaire S. Enfin il faudrait munir le dispositif d'émission d'un excitateur afin que les ondes électriques susceptibles d'actionner à distance un cohéreur soient effectivement produites.

Dispositifs de cohéreur et de réflecteur. — Le cohéreur que M. A.-F. Collins [1] a fait

[1] Brevet américain n° 644 497

breveter est constitué de la manière suivante : Les deux électrodes métalliques 11, 11 (fig. 17), que contient un tube de verre 10, sont réunies entre elles par une lame très mince 14 d'un métal très résistant. Les faces des électrodes sont taillées en biseau, et la limaille 13 placée dans l'intervalle 12 qu'elles comprennent est de la limaille de fer. Les ondes reçues par l'antenne 15_a traversent le cohéreur et sont conduites au sol. Lorsque le cohéreur devient conducteur il ferme un circuit comprenant un électro-aimant 15 disposé sur le tube même du cohéreur au-dessus de l'intervalle occupé par la limaille, une pile 16 et la bobine d'un relais 17. L'électro-aimant 15 attirant la limaille de fer décohère le cohéreur. Ce dispositif rappelle le cohéreur à décohésion magnétique de MM. Lodge et Muirhead, tout en étant bien moins susceptible de fonctionner que ce dernier. On sait en effet que l'intensité du courant qu'un cohéreur fonctionnant convenablement laisse passer est de l'ordre de grandeur de quelques milliampères. Il est à craindre qu'un semblable courant traversant l'électro-aimant 15 n'ait aucun effet de décohésion sur la limaille. Il eût tout au moins fallu commander le courant de cet électro-aimant par la palette du relais 17 qui sert à envoyer le courant d'une pile 19 dans un récepteur 20. — D'après une variante du dispositif, représentée par la figure 18, M. Collins pense pouvoir entretenir par le courant que le cohéreur admet, non seulement l'électro-aimant 15 mais encore le récepteur sans l'intermédiaire d'aucun relais. L'inventeur ne semble pas s'être rendu compte de la très faible intensité de courant qu'un cohéreur admet et de la nécessité qu'il y a, pour obtenir un fonctionnement convenable, à n'imposer à ses électrodes qu'une différence de potentiel aussi petite que possible. A moins cependant que les cohéreurs employés ici admettent une tension critique de cohésion très élevée ; ce qui paraît peu probable si l'on s'en rapporte à l'étude de M. Blondel sur les cohéreurs, étude qui a mis si nettement en évidence l'existence de la tension critique de cohésion et lui assigne en général une valeur voisine de 1 volt, plutôt inférieure.

Au cours du même brevet l'inventeur préconise l'emploi d'un oscillateur à miroir que la figure 18 représente. Ce miroir dont les figures 20 et 21 donnent la coupe et la projection verticales, serait constitué par une série de tambours métalliques circulaires de diamètres décroissants reliés l'un à l'autre par des couronnes métalliques, également circulaires. Inutile d'insister sur l'inutilité d'un semblable miroir associé au transmetteur.

Dispositif destiné a empêcher l'interception des communications par ondes hertziennes sans fil et a prévenir du trouble qu'on chercherait a y apporter. — Le dispositif que M. L.-H. Walter[1] préconise dans ce double but et qu'il fait breveter, a été étudié d'une manière plus sérieuse que les précédents. Non seulement il est complet, mais les différentes parties semblent en avoir été étudiées avec beaucoup de soins ; le seul reproche qu'on pourrait y faire est sa complication un peu grande, mais aussi le problème que se propose de résoudre l'inventeur n'est pas des moins complexes.

Transmetteur. — Les organes de transmission sont représentés figure 22. Un oscillateur à trois sphères A_2 est entretenu à la manière habituelle par une bobine d'induction A dont le circuit inducteur est alimenté par la pile B que commande un interrupteur C. Le levier de cet interrupteur peut être attiré par l'électro-aimant C_1 dont la commande constitue la partie originale de l'invention. — Un levier F, mobile autour d'un axe D_2, peut s'abaisser de manière à venir toucher le butoir F_2. Il entraîne dans son mouvement une roue à rochet E. En se relevant sous l'action du ressort antagoniste G, cette roue à rochet rend solidaires

[1] Brevet américain n° 643 018 du 6 février 1900.

***



du mouvement de retour du levier deux disques D_1, D_5 mobiles autour du même axe D_2 et qui, une fois mis en mouvement par le retour du levier qui a soustrait l'un d'eux D_5 à l'arrêt à encoche H_1, continuent leur mouvement de rotation, sollicités qu'ils sont alors par un mouvement d'horlogerie. Ils peuvent ainsi accomplir tous deux un tour entier avant d'être à nouveau arrêtés par l'arrêt à encoche H_1. Ces deux disques sont fixés l'un à l'autre et le pourtour du plus petit D_1 est muni de dents D_3 irrégulièrement distribuées sur la circonférence. (Dans le cas représenté dans la figure les dents sont situées aux divisions, 1, 5, 6, 8 et 11 de la circonférence supposée divisée en douze arcs égaux à partir de l'encoche H_1.

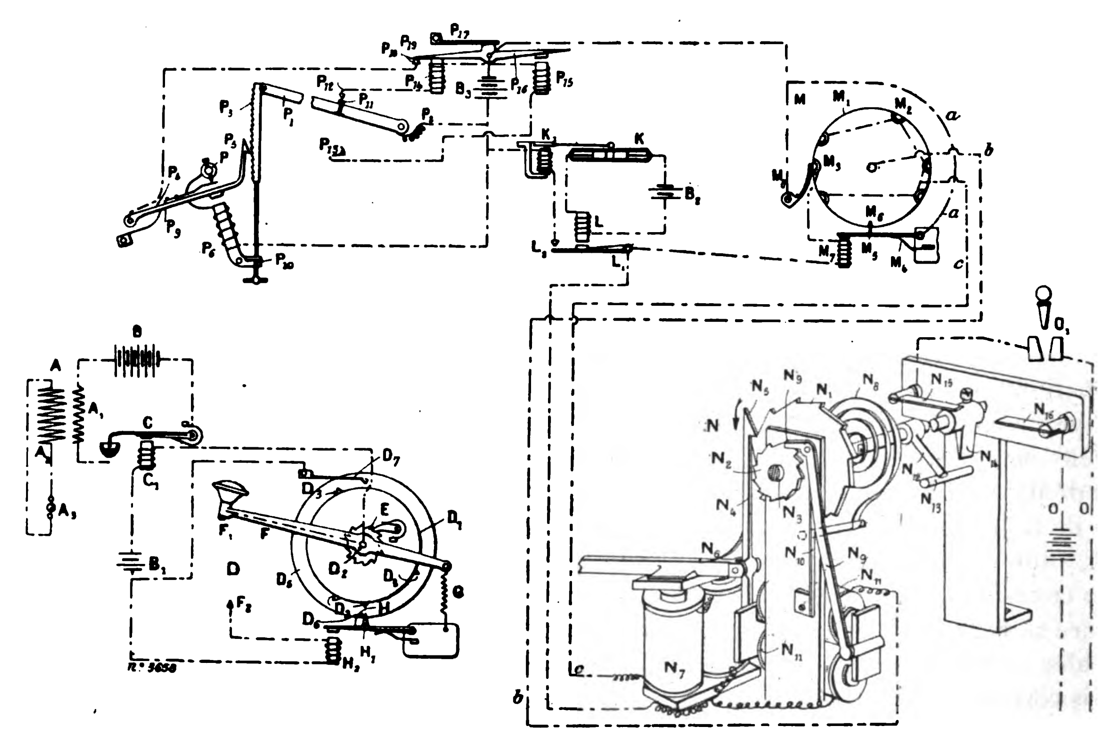


Fig. 22 et 23. — Transmetteur et récepteur Walter.

Ces dents rencontrent dans leur mouvement un levier D_7 et ferment ainsi par l'intermédiaire du disque conducteur et de ce levier le circuit d'une pile B_1 à travers l'électro-aimant C_1 de l'interrupteur C, si bien que chaque fois qu'une dent vient au contact du levier D_7 une émission d'onde est produite par l'oscillateur A_3. Il en est également de même au début du mouvement, alors que le levier F vient au contact du butoir F_2. Le circuit de la pile B_1 se trouve alors fermé simultanément à travers l'électro-aimant C_1 et l'électro-aimant H_2, le courant suivant le chemin $B_1\,H_2\,F_2\,F_1\,D_2\,C_1\,B_1$. L'électro-aimant H_2 attire le levier H qui porte l'arrêt à encoche H_1, si bien que la première émission d'ondes produite par l'abaissement du levier F est immédiatement suivie de la mise en mouvement du disque D_1 qui produit ensuite automatiquement les émissions d'ondes suivantes à des intervalles de temps réglés par la disposition même des dents D_3 sur la circonférence du disque.

Récepteur. — Le récepteur comprend un cohéreur K (fig. 23) fermant sous l'action des ondes le circuit d'une pile B_2 dans un relais L et muni d'un frappeur K_1 pour la décohésion. Ce cohéreur commande deux dispositifs particuliers, l'un M constitué par un disque analogue au disque D_1 du transmetteur, l'autre N qui peut être considéré comme un enregis-



treur des diverses émissions d'ondes produites par le transmetteur lorsqu'il est mis en mouvement. Enfin le courant électrique entretient un troisième dispositif P destiné à donner au mouvement du disque de M une vitesse uniforme qui assure le synchronisme entre les mouvements des disques transmetteur et récepteur.

1° Disque récepteur. — Ce dispositif M (fig. 23) est constitué par un disque conducteur M_1 portant sur sa circonférence une suite de contacts conducteurs M_3, M_2, M_2, ... isolés du disque. L'un de ces contacts M_3 est relié à un électro-aimant M_7 relié d'autre part à la palette L_1 du relais qui commande le cohéreur. Les autres contacts M_2 sont liés entre eux et par le fil c à l'électro-aimant N_7 du dispositif enregistreur N. Les contacts M_2 sont distribués autour du disque M_1 de la même manière que les dents D_3 du disque transmetteur D_1. Quant au contact M_3 il occupe une position telle que, lorsque le disque M_1 est au repos arrêté par l'arrêt à encoche M_5 que commande l'électro-aimant M_7, un balai conducteur M_8 s'appuie sur ce contact M_3. Lorsque le disque M_1 est mis en mouvement le balai M_8 vient en contact successivement avec la suite des contacts M_2. Ce balai est en relation avec l'un des pôles d'une pile B_3, qui est aussi relié par le fil a avec la palette M_5 qui porte l'arrêt à encoche. Le second pôle de la pile B_3 est relié à travers l'électro-aimant K_1 avec le butoir de travail L_2 du relais L. Enfin un dernier conducteur relie la palette L_1 de ce relais à l'extrémité libre du fil de l'électro-aimant N_7.

2° Enregistreur. — L'enregistreur N (fig. 23) comprend deux électro-aimants N_7 et N_{11}. Un axe N_3 porte deux roues à rochet N_1, N_2, un ressort spirale N_8 fixé en N_9, un levier d'arrêt N_{12} qui dans la position de repos s'appuie sur la tige N_{13}, enfin une came N_{14} susceptible de venir par la rotation de l'axe en contact avec le balai N_{16}. Cette came ferme alors le circuit d'une pile locale O dans l'appareil avec lequel on utilise tout ce dispositif. Le ressort spirale N_8 tend à ramener l'arrêt N_{12} contre la tige N_{13}.

Deux leviers N_4, N_9, engrènent avec les deux roues à rochet N_1 et N_2. Le levier N_9 est susceptible d'abandonner la roue à rochet sur laquelle il s'accroche lorsque l'électro-aimant N_{11} attire la palette placée à l'extrémité de ce levier. Quant au levier N_4, il est porté à l'extrémité de la palette N_6 de l'électro-aimant N_7 et porte lui-même à son extrémité une palette susceptible d'être attirée par l'électro-aimant N_{11}. Il peut ainsi être actionné de deux manières. Si l'électro-aimant N_7 attire sa palette le levier reçoit un mouvement de bas en haut qui imprime à l'axe N_3 une certaine rotation. Cette rotation se conserve lorsque le levier N_4 se relève grâce à l'accrochage de la roue à rochet N_2 et du levier N_9; si bien qu'à chaque attraction de l'électro-aimant N_7 l'axe N_3 reçoit une rotation. Ces rotations successives portent peu à peu la came N_{14} vers le balai N_{16} en même temps qu'elles tendent le ressort spirale N_8. Si un courant circule à travers l'électro-aimant N_{11}, cet électro-aimant attire les deux palettes qui le flanquent. Le levier N_4 est alors éloigné de la roue à rochet N_1 en même temps que le levier N_9 est éloigné de la roue à rochet N_2 et l'axe N_3 sollicité par le ressort spirale revient à sa position de repos marquée par le contact de l'arrêt N_{12} et du butoir N_{13}.

L'une des extrémités de l'enroulement de l'électro-aimant N_7 est reliée à l'une des extrémités de l'enroulement de l'électro-aimant N_{11} et toutes deux sont réunies à la palette L' du relais L. L'extrémité libre de l'enroulement de l'électro-aimant N_{11} est reliée, ainsi qu'il a été dit, par le fil b avec l'axe du disque M'. L'extrémité libre de l'enroulement de l'électro-aimant N_7, est reliée par le fil c avec la série des contacts M_2 du disque M_1.

Fonctionnement de l'appareil. — Faisant abstraction du dispositif du synchronisme P qui sera décrit plus loin, supposons que le levier F du manipulateur (fig. 22) soit abaissé. Une émission d'onde est produite et le disque D_1 mis en mouvement. Cette émission d'ondes



atteint le cohéreur K (fig. 23). Le relais L se trouve actionné et le courant de la pile B_3 est fermé à travers le circuit B_3 B_8 M_3 M_7 L_1 L_2 K_1 B_3. L'arrêt à encoche M_8 étant éloigné du disque M', celui-ci est entraîné par un mouvement d'horlogerie. Dès que le balai M_8 quitte le contact M_3 le courant de la pile B_3 se trouve fermé par l'émission d'ondes à travers le circuit B_3 *a* M_8 *b* N_{11} L_1 L_2 K_1 L_3 et l'axe N_3 revient à sa position de repos s'il n'y était déjà. — Les deux disques manipulateur et récepteur D_1 (fig. 22), M_1 (fig. 23), tournant d'un mouvement synchrone, au moment où les émissions successives d'ondes auxquelles donnent lieu le contact des dents D_3 et du levier D_7 (fig. 22) se produisent, les contacts M_2 du disque M_1 (fig. 23) se trouvent rencontrés par le balai M_8. Chaque émission d'onde ainsi produite, reçue par le cohéreur K, actionnant le relais L, ferme le circuit B_3 M_8 M_2 *c* N_7 L_1 L_2 B_3

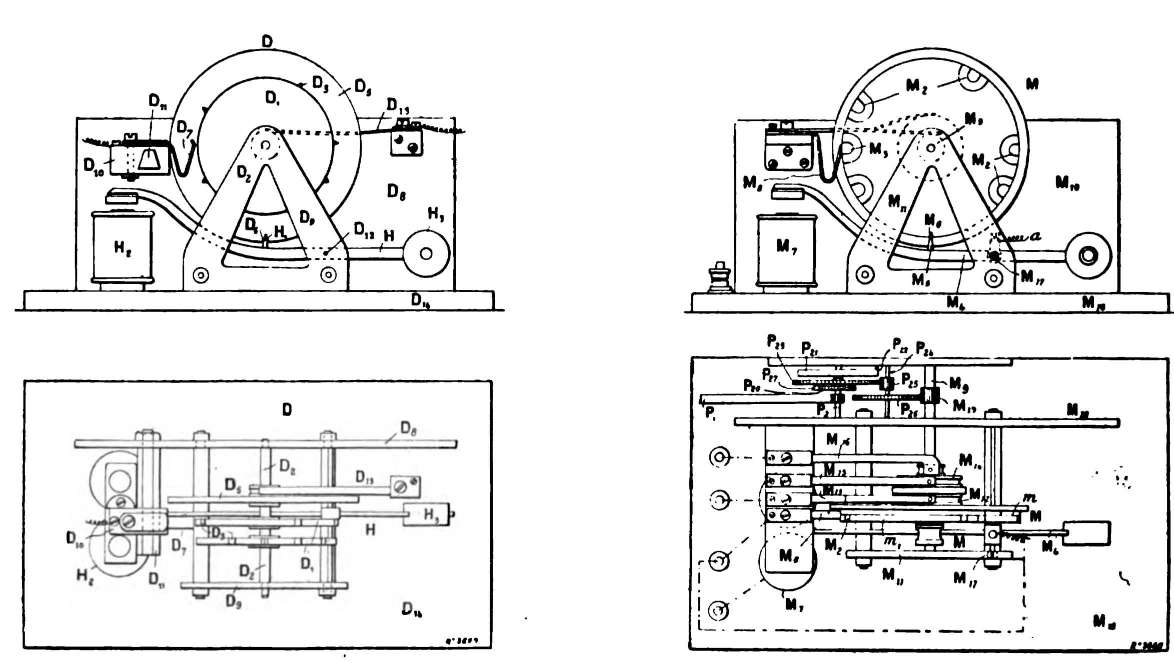


Fig. 24 et 25. — Disque transmetteur.

Fig. 26 et 27. — Disque récepteur.

et l'axe N_8 reçoit à chaque émission d'ondes par suite de l'attraction du levier N_4, une rotation qui rapproche peu à peu la came N_{14} du balai N_{16}. Les distances sont calculées pour que la came N_{14} touche N_{16} lorsque le disque D_1 (fig. 22), achevant son tour, envoie la dernière émisssion d'ondes. — Lorsque les deux disques D_1 et M_1 (fig. 23) ont achevé leur tour les arrêts à encoche H_1 (fig. 22) et M_8 (fig. 23) soustraient en même temps les deux disques à l'action des mouvements d'horlogerie qui les entraînent.

Si des émissions d'ondes destinées à troubler la transmission sont reçues par le cohéreur entre deux passages des contacts M_2 en face du balai M_8, ces émissions ont pour effet de fermer le circuit B_3 *a* M_8 *b* N_{11} L_1 L_2 K_1 B_3 et l'enregisteur est ramené à sa position de repos. On peut donc être averti au poste de réception, par le retour brusque de l'enregistreur à sa position de repos sans contact préalable de la came N_{14} et du balai N_{16}, du trouble qui est apporté aux transmissions. Si le poste transmetteur contrôle sa propre transmission en faisant fonctionner un récepteur il pourra être averti lui-même du trouble apporté, pour peu que les émissions d'ondes perturbatrices lui parviennent.

Pour pouvoir surprendre la transmission il faudra connaître le régime des émissions d'ondes réglées par chaque tour du disque D_1, régime qu'on pourra compliquer à volonté.



On conçoit que par l'emploi de disques D_1 portant des dents D_3 en nombres divers et diversement distribuées, on pourra d'un même poste transmetteur communiquer à volonté avec l'un ou l'autre des postes récepteurs munis chacun d'eux d'un disque de distribution de contacts connue.

On voit que si ce dispositif empêche l'interception des communications et prévient dans une certaine mesure du trouble qu'on cherche à y apporter, il n'en est pas moins sensible à ce trouble et n'assure par suite pas d'une manière complète la sécurité des transmissions. M. Walter propose, entre autres applications de son dispositif, de l'employer pour déterminer l'explosion des mines à distance au moyen des ondes hertziennes. Le circuit de la pile O qui ferme le contact de la came N_{14} et du balai N_{16} actionne le dispositif qui doit faire partir la mine.

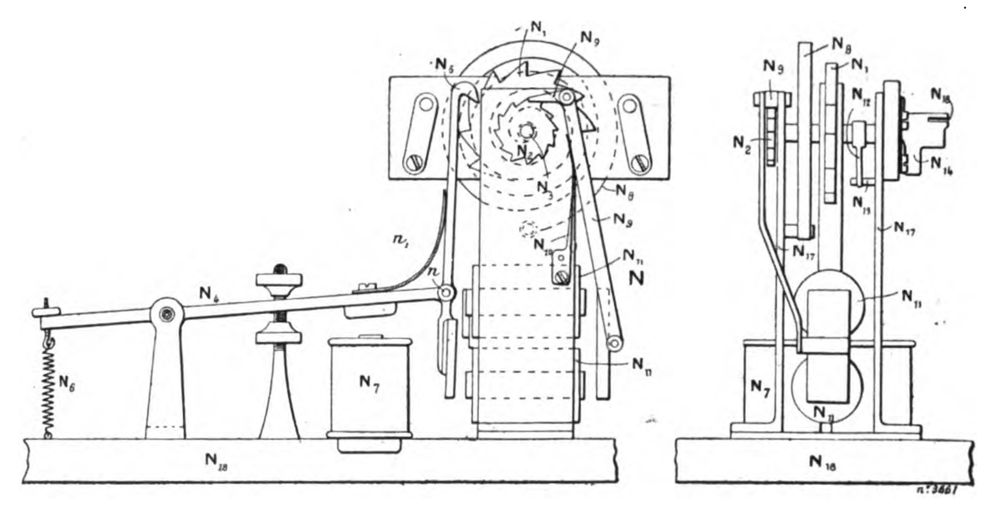


Fig. 28 et 29. — Dispositif enregistreur.

3° Synchronisme. — Le dispositif électrique qui doit assurer le synchronisme entre les mouvements des deux disques transmetteur et récepteur est un peu compliqué. Il aurait pu tout aussi bien être obtenu, plus simplement, par des dispositifs mécaniques. C'est plutôt d'ailleurs un dispositif destiné à régulariser la vitesse du disque M_1 (fig. 23) qu'à assurer, à proprement parler, un synchronisme entre les mouvements des disques D_1 (fig. 22) et M_1 (fig. 23). Ce dispositif est représenté en P.

Un levier P_1 mobile autour de l'axe du disque M_1 peut se déplacer entre deux contacts P_{12} et P_{13}. Il porte à son extrémité une tige verticale à crémaillère P_3 dont les mouvements sont guidés par la tige P_{10}. Sur cette crémaillère vient s'accrocher l'extrémité d'un levier P_8 dépendant d'une palette P_4 qui prend sous l'action d'un électro-aimant P_6 un mouvement de trembleur. Un levier P_{18} maintenu dans une position horizontale par un ressort P_{17}, peut s'incliner à droite ou à gauche suivant qu'il est attiré par un électro-aimant P_{15} ou par un électro-aimant P_{14}. Lorsqu'il obéit à l'attraction de l'électro-aimant P_{14}. il vient s'appuyer sur un butoir P_{19} mis en relation avec le levier du trembleur *p*. Chacune des extrémités des enroulements des électro-aimants P_{14} et P_{15} est, ainsi que le levier P_{18}, réunie à l'un des pôles de la pile B_3. L'autre pôle de la pile communique avec le levier P_1 en P_{11}. L'extrémité libre de l'enroulement de l'électro-aimant P_{14} communique avec le contact P_{12}; celle de l'électro-aimant P_{15} est reliée au contact P_{13}.

Lorsque le disque M_1 est arrêté, le levier P_1 ne touche aucun des deux contacts P_{12} et



P_{13}. Dès que le disque M_1 est mis en mouvement, par l'action d'un déclic, le levier P_1 obéissant à l'action du ressort P_2 se porte sur le contact P_{12}. Le courant circule dans l'électro aimant P_{14} et le levier P_{18} est porté contre le contact P_{19}. Le trembleur p se trouvant actionné, la crémaillère P_3 abaisse le levier P_1 et le porte sur le contact P_{13}. L'électro-aimant P_{15} attire donc le levier P_{18}, qui, abandonnant le contact P_{19}, fait cesser l'action du trembleur p. Le levier P_1 se relève alors sous l'action du ressort antagoniste P_2, et la même série de mouvements se reproduit. Les mouvements alternatifs du levier P_{18} sont employés à régulariser le mouvement de rotation du disque M_1.

Les figures 24, 25, 26, 27, 28 et 29 représentent les détails des diverses parties du dispositif de M. Walter et la manière dont sont pratiquement disposées les diveres pièces de l'appareil.

La figure 24 est une projection horizontale du disque transmetteur et de ses accessoires dont la figure 25 donne une projection verticale. — Les figures 26 et 27 sont les projections horizontale et verticale du disque récepteur et des divers balais et leviers qui l'accompagnent. Les figures 28 et 29 montrent deux sections verticales à angle droit du dispositif enregistreur.

Dans la figure 24, le levier D_7, que les dents D_8 rencontrent dans leur mouvement, est portée par un bloc d'ébonite D_{10} pouvant glisser le long d'une tige D_{11} (fig. 24 et 25), de manière à permettre au levier D_7 d'être rencontré soit par les dents d'un disque D_1, soit par les dents différemment distribuées d'un second disque D_1, destiné à la transmission avec un poste récepteur, différent du premier. La figure 26 montre par quel agencement de roues dentées se produit l'entraînement du levier P_1 lors de la mise en mouvement du disque M_1.

A. Turpain.

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 350 KILOWATTS DE LA SOCIÉTÉ DES HAUTS FOURNEAUX DE MAUBEUGE

La Société anonyme des Hauts Fourneaux de Maubeuge, une des plus anciennes usines métallurgiques du Nord, dirigée par M. F. Raty, avait présenté à l'Exposition un groupe électrogène à courant continu construit entièrement par elle.

Ce groupe, formé d'une dynamo à courant continu de 350 kilowatts et d'un moteur à vapeur de 500 chevaux, a fonctionné 125 jours; il est représenté sur la photographie de la figure 1. La figure 2 en est une vue en élévation.

Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur de la Société des Hauts Fourneaux de Maubeuge est du type monocylindrique à condensation. Les principales dimensions et constantes en sont les suivantes :

Diamètre du cylindre.	75 cm.
Course du piston.	70 »
Vitesse angulaire en tours par minute	120
Pression de la vapeur d'admission.	8 kg : cm²

La puissance normale dans les conditions indiquées de vitesse et de pression et à condensation est de 500 chevaux effectifs. Les diagrammes relevés sur cette machine sont représentés sur les figures 3 et 4.



La distribution de la vapeur à détente variable par le régulateur est du système A. Hoyois, breveté s. g. d. g. Dans ce système, l'admission de la vapeur se fait par soupapes équilibrées et l'échappement par tiroirs plans à grilles

Les deux fonds de cylindre comportent deux chambres : une pour l'admission et l'autre pour l'échappement. La [première contient des soupapes équilibrées et communique par

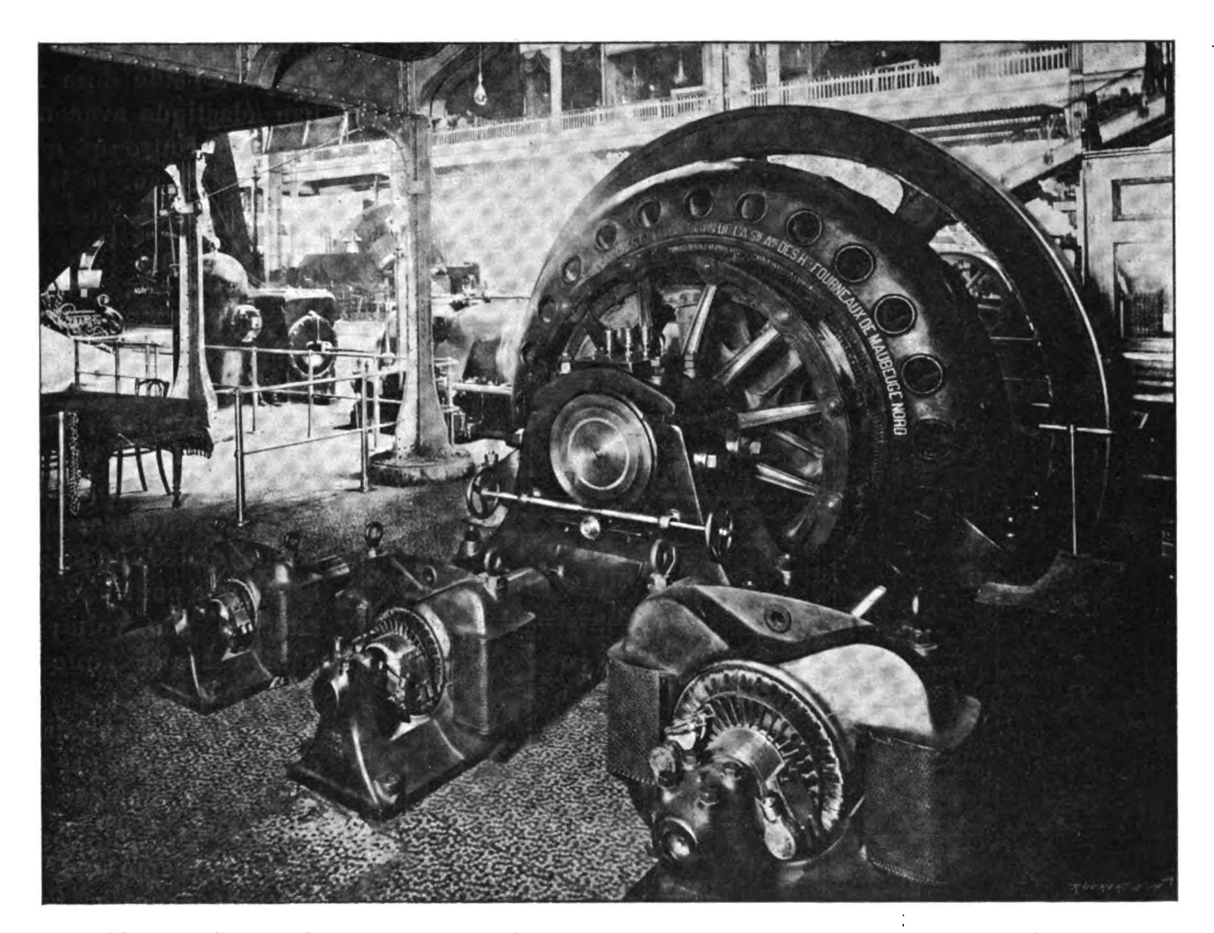


Fig. 1. — Groupe électrogène de 350 kilowatts de la Société des Hauts Fourneaux de Maubeuge.

deux canaux avec l'enveloppe de vapeur du cylindre de façon à réchauffer celui-ci par le fond. A ces soupapes est fixée une tige qui rentre dans l'œil des tringles d'entraînement des soupapes. Ces tringles sont commandées directement et rectilignement par les virgules du déclic qui sont articulées sur le tourillon du levier de distribution. Ce dernier reçoit son mouvement alternatif d'un excentrique calé sur un arbre de distribution parallèle à l'axe du cylindre et commandé à l'aide d'engrenages par l'arbre principal.

La boîte d'échappement est placée à la partie inférieure de telle sorte que l'eau condensée ou entraînée ne saurait rester dans le cylindre et s'écoule immédiatement dans la conduite d'échappement.

La course des tiroirs d'échappement est très réduite et obtenue par des excentriques calés sur l'arbre de distribution.

Les soupapes d'admission sont à fermeture rapide avec un amortisseur à air.

Le condenseur est monté en tandem avec le cylindre.

Outre l'induit de la dynamo, le moteur à vapeur comporte un volant d'un poids de 11 000 kg. Le diamètre de ce volant est de 4 m et sa largeur de 50 cm.

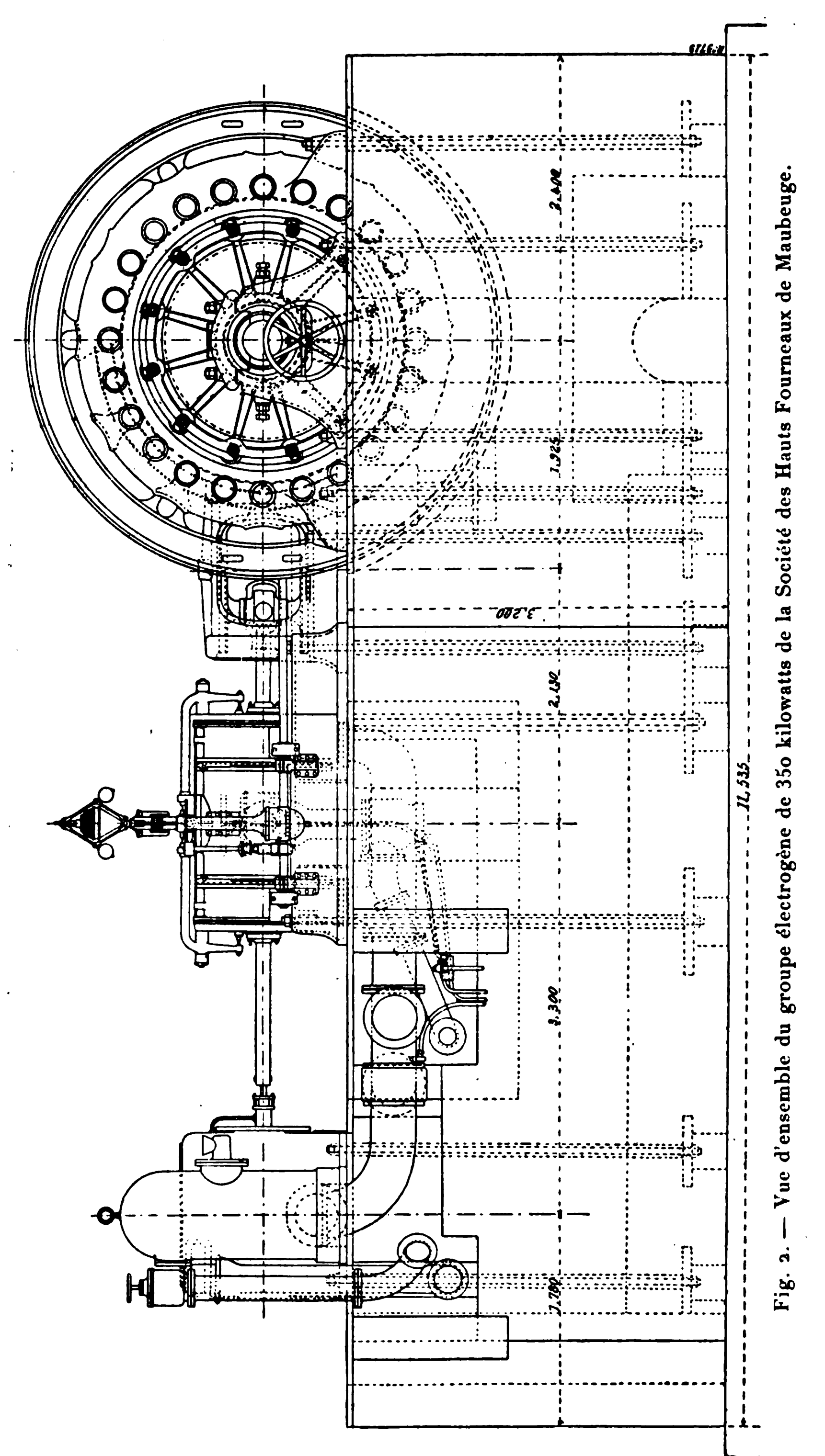


Fig. 2. — Vue d'ensemble du groupe électrogène de 350 kilowatts de la Société des Hauts Fourneaux de Maubeuge.

Sur le volant de la machine est calée une couronne Zœdel qui l'accouple à l'aide d'un ruban élastique avec une seconde couronne analogue calée sur la jante du support de l'induit.

Dynamo. — La dynamo de la Société des Hauts Fourneaux de Maubeuge étudiée par M. Ch. Reignier, ingénieur chef de service des Ateliers de constructions mécaniques, électriques et des Fonderies, est établie pour une tension de 250 volts ; le débit est par suite de 1 400 ampères.

La vitesse angulaire est de 120 tours par minute et le nombre de pôles de 12.

La dynamo est représentée sur les figures 5 et 6 qui sont des vues d'ensemble avec coupes partielles. Les figures 7 et 8 montrent des coupes et vue d'une partie de l'induit et de l'inducteur, la figure 9 est une vue de dents de l'induit à plus grande échelle.

Inducteurs. — Les inducteurs, en acier coulé, sont constitués par 12 circuits magnétiques, indépendants, en fer à cheval, réunis entre eux par une carcasse en deux parties, présen-

tant de nombreuses ouvertures circulaires pour la ventilation et entourant complètement ces pôles de façon à protéger les enroulements.

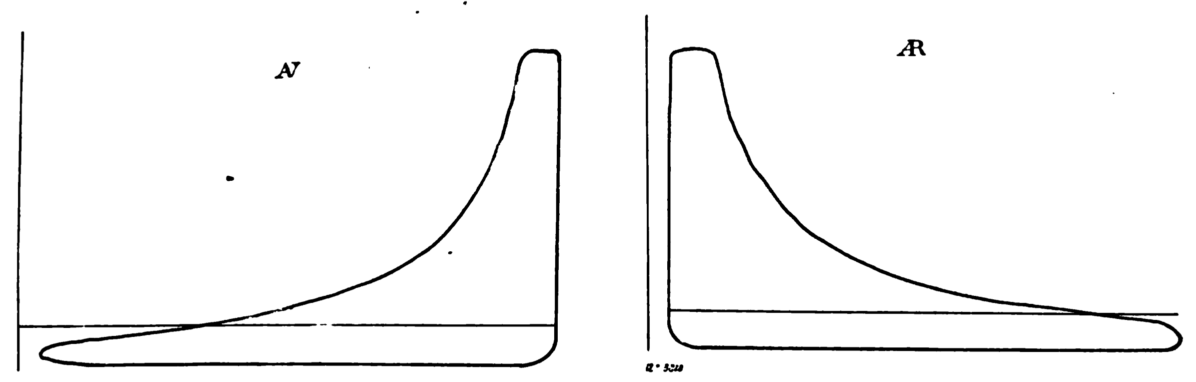


Fig. 3 et 4. — Diagramme du moteur à vapeur de la Société des Hauts Fourneaux de Maubeuge.

Le diamètre extérieur de la carcasse est de 3,2 m et sa largeur de 80 cm.

Chaque pôle proprement dit est formé de deux noyaux appartenant à deux circuits

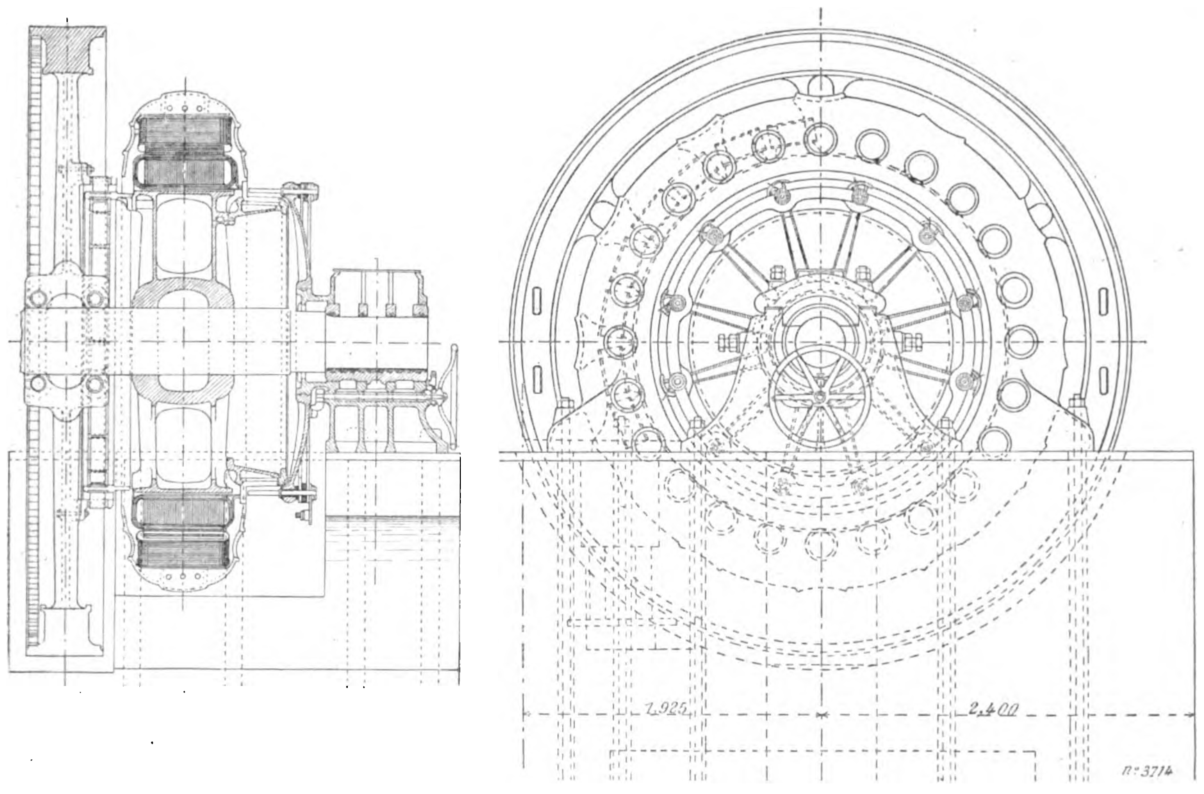


Fig. 5 et 6. — Vues d'ensemble de la dynamo à courant continu de 350 kilowatts de la Société des Hauts Fourneaux de Maubeuge.

magnétiques voisins et réunis par une pièce polaire unique présentant un fort étranglement en son milieu entre les deux noyaux.

Ce dispositif permet de réduire la réaction d'induit par suite de la réluctance élevée que le flux induit a à traverser.

....



La largeur des noyaux polaires dans le sens perpendiculaire à l'axe est de 17 cm pour chaque demi-pôle proprement dit. La longueur dans le sens de l'axe est de 50 cm.

Les pièces polaires, de même nature que la carcasse, sont fixées à l'aide de vis ; leur longueur est de 50 cm et leur largeur de 26 cm par demi-pôle. La surface des pièces polaires par pôle est par suite de 2 600 cm².

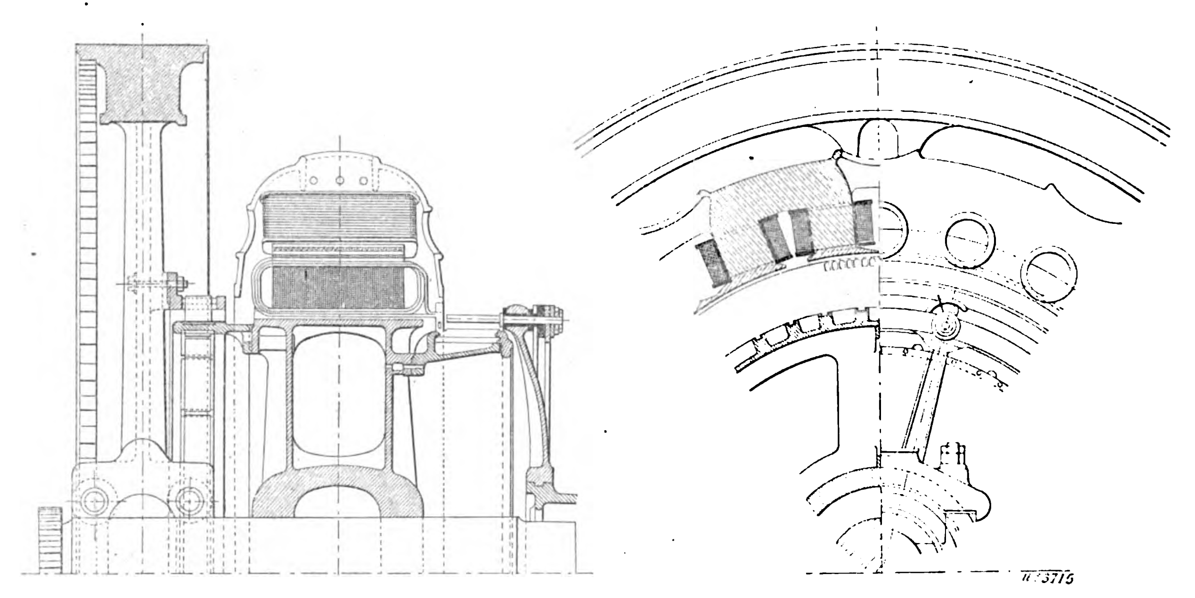


Fig. 7 et 8. — Coupes et vue d'une partie de l'induit et de l'inducteur de la dynamo de 350 kilowatts de la Société des Hauts Fourneaux de Maubeuge.

Le diamètre d'alésage de l'inducteur est de 2,41 m et l'entrefer de 5 mm.

Chaque pôle inducteur porte deux bobines enroulées sur des carcasses isolantes retenues par les pièces polaires. Les deux bobines comportent chacune 518 spires de fil de 4 mm de diamètre ou 12,56 mm² de section.

Les 24 bobines sont groupées en deux séries de 12 bobines et les deux séries sont montées en parallèle. La résistance du circuit inducteur est de 7 ohms à froid et le poids de cuivre utilisé sur l'inducteur est de 2 000 kg.

Le poids de l'inducteur sans les plaques de fondation est de 10 630 kg.

Induit. — Le support de l'induit est constitué par un tambour en fonte porté par un croisillon fou sur l'arbre et muni de deux rangées de bras réunies par des nervures.

Le tambour porte extérieurement des projections radiales terminées en queue d'hironde et sur lesquelles viennent s'empiler les tôles de l'induit.

Celui-ci est formé de 10 000 segments de tôles de 0,5 mm d'épaisseur isolées au papier gomme laqué ; il y a douze segments par couronne.

Le noyau de tôles est serré entre deux plateaux et maintenu par des broches en acier.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 2,40 m et son diamètre intérieur de 2 m ; la hauteur radiale des tôles est par suite de 20 cm. La largeur du noyau est de 50 cm et la largeur utile, c'est-à-dire déduction faite de l'épaisseur du papier, de 41,5 cm.

A la surface extérieure de l'induit sont pratiquées 288 rainures très peu ouvertes. Ces rainures ont une profondeur de 4,3 cm et une largeur de 1,2 cm, l'ouverture dans l'entrefer n'est que de 2 mm.

Le volume du fer est de 467 dm³.



L'enroulement induit est en anneau Gramme-Pacinotti; il est réparti en 288 sections de 3 spires chacune. Le fil induit est formé par un câble en fil de 1,5 mm de diamètre et d'une section utile de 65 mm². Ce câble est laminé de façon à affecter une section rectangulaire et est isolé par 3 guipages et une tresse.

Les encoches de l'induit sont isolées par des canaux isolants.

Le poids de cuivre sur l'induit est de 790 kg.

Le collecteur est monté sur un support en fonte fixé au support de l'induit. Les 288 lames isolées au mica sont serrées à l'aide d'un anneau en fer forgé s'engageant dans une encoche triangulaire des lames.

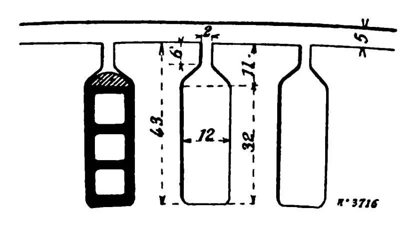


Fig. 9. — Forme des encoches de la dynamo de 350 kilowatts de la Société des Hauts Fourneaux de Maubeuge.

Le diamètre extérieur du collecteur est de 1,80 m et sa largeur utile de 24 cm.

Le support des porte-balais est constitué par une étoile à 12 branches en fonte portant chacune un axe isolé.

Chaque axe comporte 6 balais en charbon et les axes de même polarité sont réunis entre eux par deux cercles collecteurs en cuivre sur lesquels sont fixées les prises de courant.

La résistance de l'induit entre balais est de 0,0025 ohm.

Le poids de l'induit tout monté avec son arbre et son plateau d'accouplement est de 10 177 kg.

Résultats d'essais. — L'intensité du courant d'excitation nécessaire pour obtenir la tension normale à vide est de 10 ampères.

En charge, le courant d'excitation atteint 13,5 ampères; un rhéostat placé en série avec l'inducteur absorbe le surplus de la tension nécessaire à l'excitation.

L'induction admise dans le fer induit (culasse) est de 10 500 unités C. G. S.

ALTERNATEUR DE 260 KILOVOLTS-AMPÈRES DE LA SOCIÉTÉ NOUVELLE DECAUVILLE AINÉ

La Société Nouvelle des Établissements Decauville aîné qui exploite en France les brevets de l'Elektricitäts Actien-Gesellschaft, ci-devant Kolben et Cie, construit des alternateurs de toutes puissances du type Kolben.

L'alternateur à courants triphasés de 260 kilovolts-ampères que nous allons décrire est d'un type analogue à celui exposé par MM. Kolben et Cie dans la section autrichienne, mais il en diffère sensiblement comme constitution, car l'induit est à trous et les épanouissements polaires ne sont plus feuilletés, mais pleins.

L'alternateur Kolben de 260 kilovolts-ampères de la Société Nouvelle des Etablissements Decauville aîné, est du type volant. Il est établi pour un facteur de puissance minimum de 0,9; sa puissance vraie est par suite de 235 kilowatts.

La tension aux bornes est de 200 volts et la tension par phase est de 115 volts. Le débit par phase est de 750 ampères.

La vitesse angulaire est de 120 tours par minute et la fréquence de 40 périodes par seconde; le nombre de pôles est par conséquent de 40.

Les figures 1 et 2 représentent des vues d'ensemble de l'alternateur Kolben-Decauville. Les figures 3 et 4 sont des coupes et vues d'une partie de l'induit et de l'inducteur.

Inducteurs. — L'inducteur volant est constitué par une jante en fonte, à section en forme d'U, coulée en deux parties et réunie au moyeu par 8 bras doubles. L'assemblage au

moyeu se fait par des boulons et à la jante par des boulons et par 4 frettes annulaires placées à chaud dans des rainures pratiquées à l'endroit des joints.

Le diamètre extérieur de la jante est de 3,25 m et sa largeur de 41 cm.

Les noyaux polaires, à section circulaire, sont en acier coulé et portent venus de fonte des épanouissements polaires de forme carrée.

Les pôles inducteurs sont encastrés dans la jante et sont retenus après celle-ci par des boulons la traversant complètement.

Le diamètre des pôles inducteurs est de 14,5 cm et leur hauteur de 21,3 cm y compris la partie encastrée et la pièce polaire.

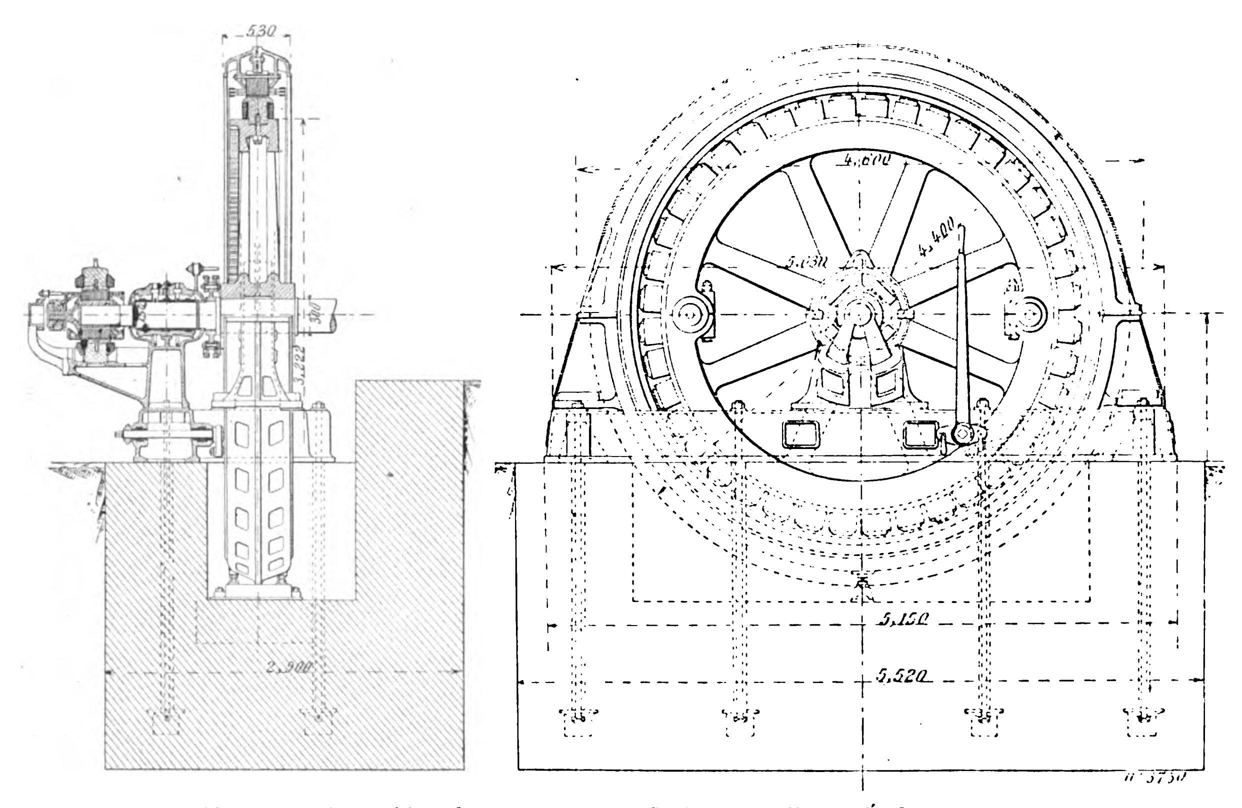


Fig. 1 et 2. — Alternateur de 260 kilovolts-ampères de la Société nouvelle des Établissements Decauville aîné.

Les pièces polaires ont un côté de 16,5 cm et par suite une surface de 272,5 cm^2.

Le diamètre extérieur de l'inducteur est de 358,6 cm et l'entrefer de 7 mm.

L'enroulement inducteur comprend 40 bobines enroulées sur des carcasses isolantes et comportant chacune 95 spires de fil de 30,2 mm^2 de section et 6,2 mm de diamètre.

Toutes les bobines inductrices sont montées en série et la résistance du circuit ainsi formé est de 1,65 ohm à chaud.

Le poids de cuivre utilisé sur l'inducteur est de 640 kg.

Les deux extrémités du circuit inducteur aboutissent à deux bagues de prise de courant fixées sur un anneau claveté sur l'arbre et sur lesquelles frottent deux paires de balais amenant le courant d'excitation.

Induit. — L'induit est formé par une caisse cloisonnée en fonte coupée en quatre parties par un plan horizontal et par un plan vertical.



Ces quatre parties sont boulonnées entre elles par deux séries de boulons et serrent les tôles induites réparties en un seul noyau.

La partie inférieure de la carcasse repose sur un bâti fixé à la maçonnerie et portant l'un des paliers.

Deux petits vérins placés au fond de la fosse permettent de soutenir l'ensemble et de régler exactement l'entrefer dans le sens vertical.

Le diamètre extérieur maximum de la carcasse de l'induit est de 4,40 m et sa largeur totale de 53 cm.

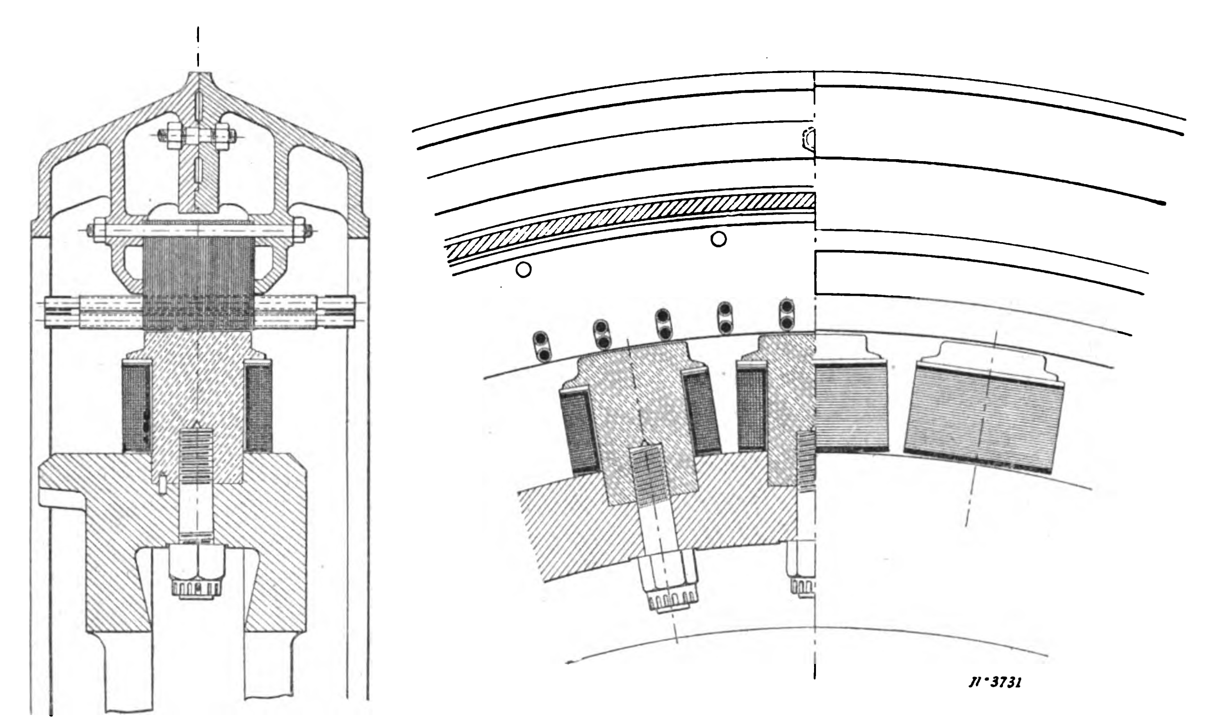


Fig. 3 et 4. — Coupes et vue d'une partie de l'induit et de l'inducteur, de l'alternateur de 260 kilovolts-ampères de la Société nouvelle des Établissements Decauville aîné.

Les tôles induites serrées entre deux cloisons en fonte ont un diamètre extérieur de 3,94 m et un diamètre d'alésage de 3,60 m; la hauteur radiale est par suite de 17 cm.

La largeur du noyau induit est de 17 cm.

L'enroulement induit est disposé dans 120 trous oblongs de 5,3 cm de hauteur et de 2,3 cm de largeur. Chacun des trous contient deux conducteurs cylindriques, de 260 mm² de section et de 48 cm de longueur placés l'un au-dessus de l'autre et isolés du fer par un tube en micanite.

Les 80 conducteurs de chaque phase sont réunis en série par des bandes de cuivre et les 3 phases sont montées en étoile.

Excitatrice. — L'excitatrice est une petite dynamo dont l'induit est calé sur l'arbre même de l'alternateur et en porte à faux. Sa puissance est de 4000 watts sur une tension de 50 volts.

L'inducteur à 4 pôles est en acier coulé avec pièces polaires rapportées, il est porté par une console venue de fonte avec le palier de l'alternateur.

L'induit est denté et porte un enroulement en tambour multipolaire série. Il est fixé sur un manchon en bronze serré sur l'arbre de l'alternateur.



Le support des porte-balais est monté sur un anneau maintenu par une paire de bras fixés à la console supportant l'induit.

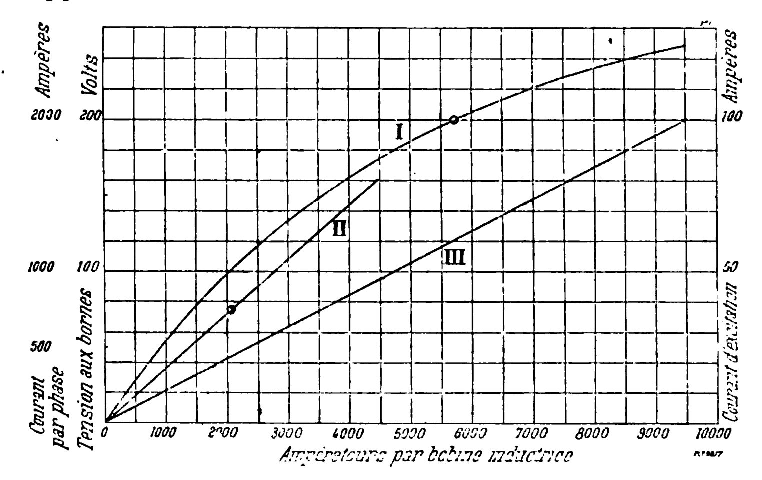


Fig. 5. — Caractéristiques de l'alternateur de 260 kilovolts-ampères de la Société nouvelle des Etablissements Decauville.

I. Caractéristique à vide. — II. Caractéristique en court-circuit. — III. Droite de correspondance du courant d'excitation aux ampèretours inducteurs par bobine.

Résultats d'essais. — Nous avons représenté sur la figure 5 les caractéristiques à vide et en court-circuit de l'alternateur de la Société Nouvelle des Établissements Decauville aîné.

On voit que l'intensité du courant d'excitation nécessaire pour obtenir la tension de 200 volts à vide à la vitesse de 120 tours et de 60 ampères.

L'intensité du courant de débit est obtenue en court-circuit avec un courant d'excitation de 21 ampères.

MATÉRIEL A COURANTS ALTERNATIFS DE LA COMPAGNIE DE FIVES-LILLE

Le matériel à courants alternatifs de la Compagnie de Fives-Lille, était représenté, en dehors de l'alternateur de 800 kilovolts-ampères précédemment décrit (1), par une dynamo à courants triphasés et à induit mobile et par plusieurs moteurs d'induction dont nous étudierons seulement un des types.

Alternateur de 175 kilovolts-ampères. — L'alternateur à courants triphasés de la Compagnie de Fives-Lille est du type à induit mobile. Sa puissance apparente est de 175 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance minimum de 0,6 ce qui correspond à une puissance vraie de 70 kilowatts au minimum.

La tension aux bagues est de 200 volts et la tension par phase de 115 volts. Le débit par phase est de 520 ampères.

La vitesse angulaire est de 430 tours par minute, ce qui, avec un nombre de pôles inducteurs de 14, correspond à une fréquence de 50 périodes par seconde.

L'alternateur est représenté sur la photographie de la figure 1 et sur les figures 2, 3 et 4, qui sont des vues d'ensemble avec coupes partielles par l'axe. Les figures 5 et 6 montrent des coupes et vues d'une partie de l'induit et de l'inducteur.

Inducteurs. — La carcasse inductrice, en acier, est coulée en deux parties et est fixée sur un bâti portant des paliers rapportés.

(1) *L'Écl. Électrique*, t. XXIV, p. 243, 18 août 1900.

Cette carcasse forme dos d'âne de façon à augmenter la résistance du métal ; son diamètre extérieur maximum est de 176 cm et sa largeur de 17 cm.

Les noyaux polaires de section circulaire sont venus de fonte avec les carcasses, ils portent des épanouissements en acier de forme carrée.

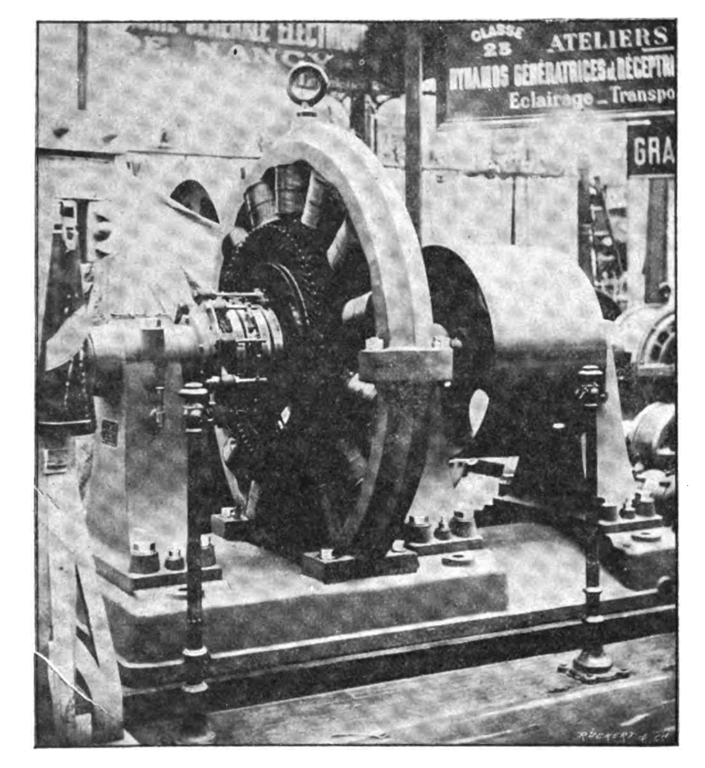


Fig. 1. — Alternateur à courants triphasés de 175 kilovolts-ampères de la Compagnie de Fives-Lille.

Le diamètre des noyaux et la longueur des épanouissements polaires sont de 16 cm.

Le diamètre d'alésage est de 101,2 cm et l'entrefer de 6 mm.

L'enroulement inducteur est constitué par 14 bobines enroulées sur des carcasses isolantes et retenues par les épanouissements. Chaque bobine comporte 280 spires de fil de 4 mm de diamètre réparties en 7 couches.

Toutes les bobines inductrices sont montées en série et la résistance du circuit est de 3,95 ohms à chaud.

Le poids de cuivre utilisé sur l'inducteur est de 280 kg.

Induit. — La carcasse de l'induit est constituée par une couronne en fonte en deux parties et supportée par un croisillon retenu sur l'arbre par deux frettes posées à chaud.

Les deux parties du support présentent des projections entre-croisées et sont maintenues serrées par un anneau en fer logé dans une rainure pratiquée dans ces projections.

Les tôles induites sont disposées sur ce support et serrées entre deux disques dentés, l'un venu de fonte avec la jante du support et l'autre, formé de divers segments fixés à l'aide de vis.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 100 cm et la largeur totale des tôles de 17 cm. La hauteur radiale du noyau est de 10 cm.

L'induit est denté et comporte 156 encoches circulaires légèrement ouvertes. Le diamètre de ces encoches est de 8 mm et leur ouverture de 0,75 mm. Chaque encoche contient une barre de 50 mm² de section.

Les barres d'un même circuit sont réunies par des développantes en V dont la partie inférieure est terminée en queue d'aronde et est serrée entre deux anneaux venus de fonte avec le support et deux cercles en fer rapportés sur chaque côté de l'induit.

Les 156 barres sont réparties en 3 circuits formés chacun de 52 barres groupées en série.

Les extrémités de ces circuits aboutissent d'une part à une bague formant point neutre et d'autre part à 3 bagues de prises de courant normales.

Les 4 bagues sont montées sur un support en fonte claveté sur l'arbre, leur diamètre est de 40 cm et leur largeur de 4 cm.

Les axes des porte-balais sont montés sur un balancier fixé à l'un des paliers.

La résistance de l'induit par phase est de 0,011 ohm à chaud et le poids de cuivre induit de 70 kg.

Le poids total de l'alternateur est de 4 800 kg.

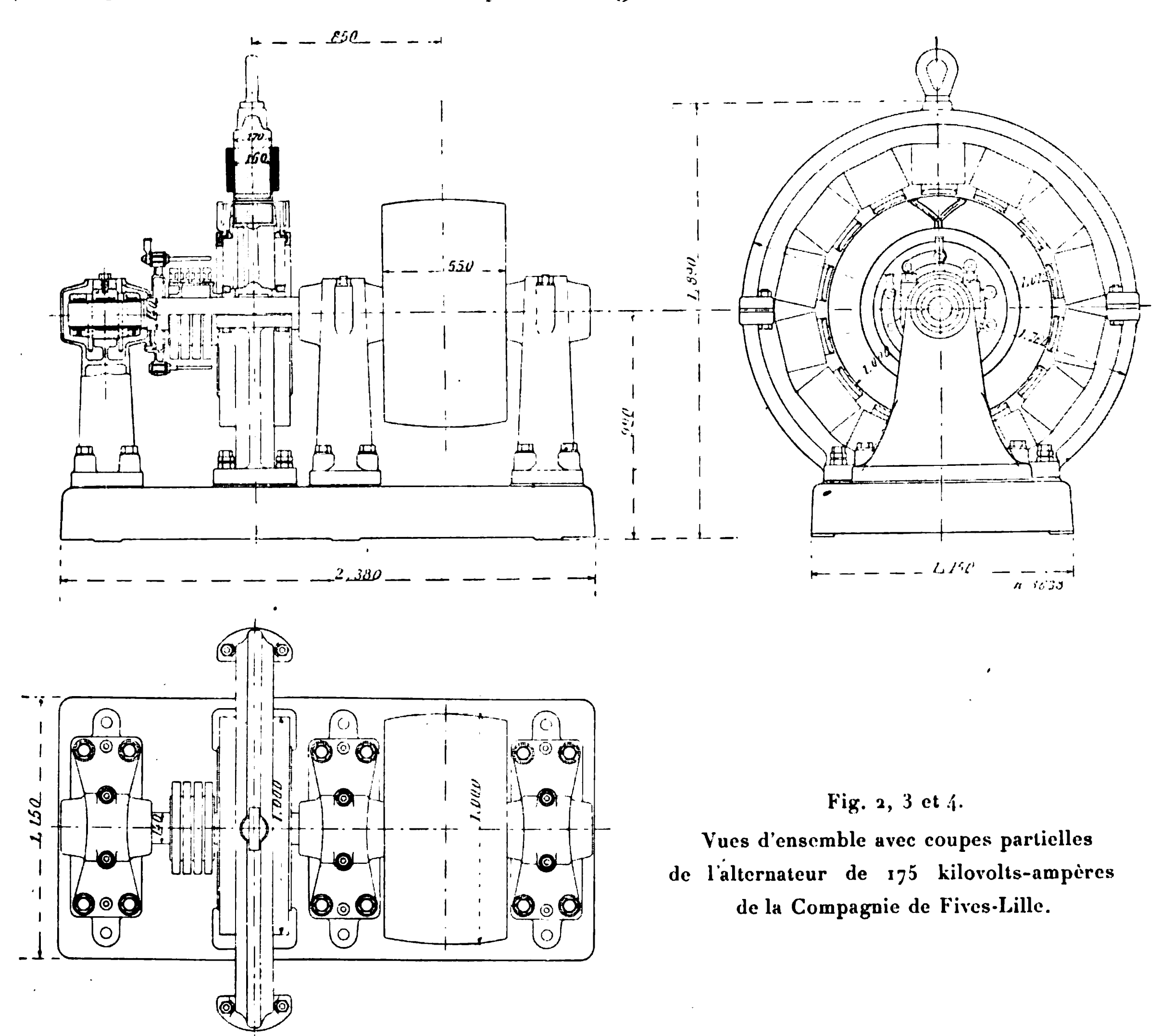


Fig. 2, 3 et 4.
Vues d'ensemble avec coupes partielles de l'alternateur de 175 kilovolts-ampères de la Compagnie de Fives-Lille.

Résultats d'essais. — L'intensité du courant d'excitation nécessaire pour obtenir la tension à vide est de 26 ampères.

Le courant d'excitation correspondant à l'intensité normale de débit en court-circuit est de 8,5 ampères.

En charge, avec un facteur de puissance égal à 1, le courant d'excitation est de 28 ampères.

Moteur asynchrone de 60 chevaux. — Le moteur à courants triphasés de la Compagnie de Fives-Lille, que nous décrirons comme type des moteurs à courants alternatifs, a une puissance de 60 chevaux sur l'arbre. Ce moteur est représenté sur la photographie de la figure 7 et sur les figures 8, 9 et 10.

Il est établi pour une tension de 190 volts avec groupement de l'inducteur en étoile et pour une fréquence de 50 périodes par seconde.

Le nombre de pôles est de 10 et la vitesse correspondant au synchronisme de 600 tours par minute. En charge, la vitesse est de 575 tours par minute.

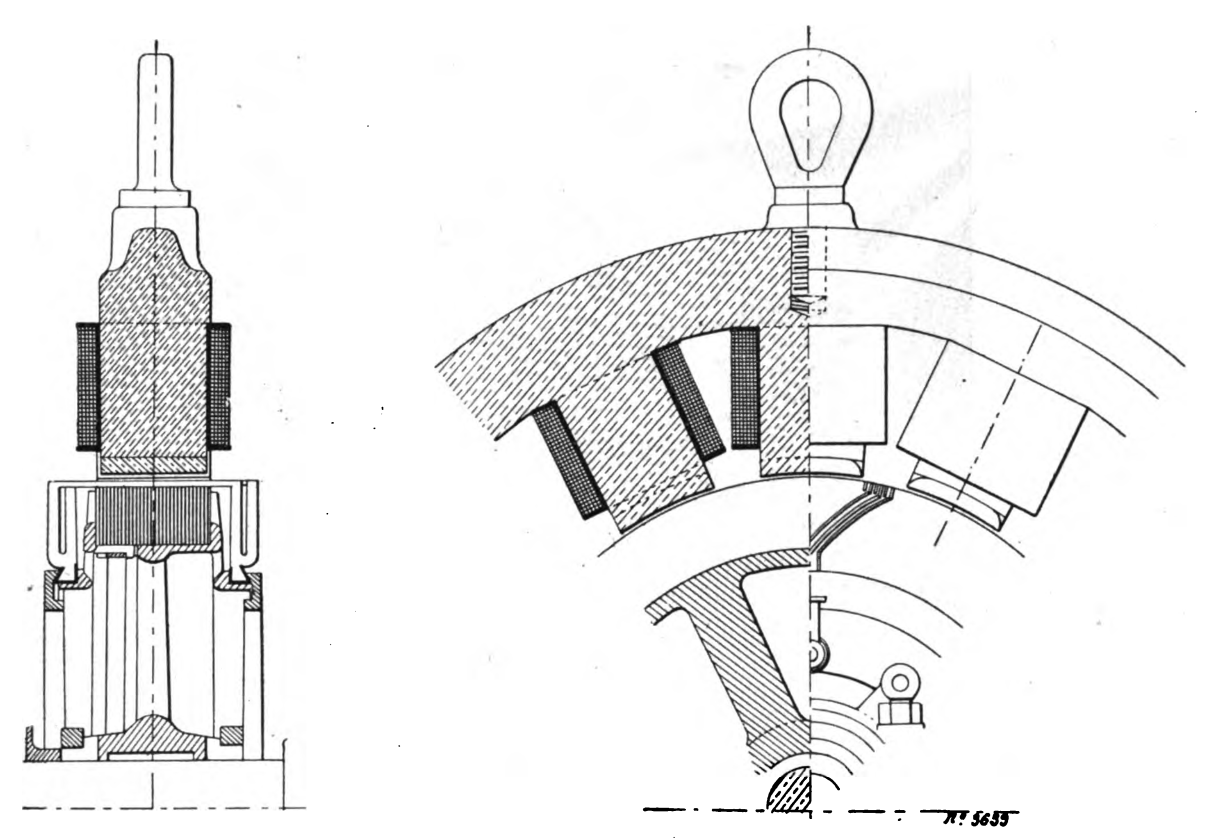


Fig. 5 et 6. — Coupes et vues d'une partie de l'induit et de l'inducteur, de l'alternateur de la Compagnie de Fives-Lille.

L'inducteur fixe est constitué par une caisse cylindrique en fonte sur les côtés de laquelle sont rapportées deux flasques portant les paliers à bague et formant protecteurs.

Le diamètre extérieur de la carcasse inductrice est de 101 cm et sa largeur de 36 cm.

Les tôles inductrices en un seul noyau sont serrées entre deux pièces annulaires en bronze s'appuyant : l'une, sur une nervure venue de fonte avec la carcasse et l'autre, sur un cercle en fer forgé, logé dans une rainure pratiquée dans la carcasse. Le second anneau en bronze a la forme d'une calotte s'arcboutant sur les tôles.

Le diamètre extérieur du noyau inducteur est de 90 cm et sa hauteur radiale de 9 cm ; la largeur est de 16 cm.

Le diamètre d'alésage est de 72 cm et l'entrefer de 1 mm.

L'enroulement inducteur est réparti dans 150 rainures, soit 5 par pôle et par phase.

Il comprend 5 bobines par phase réparties chacune dans 10 encoches ; le nombre de spires de chaque bobine complète est de 115, ce qui correspond à 23 conducteurs par encoche.



Le diamètre du fil inducteur est de 3,6 mm soit 10,2 mm² de section.

Les 5 bobines de chaque phase sont réunies en série et les 3 phases groupées en étoile. La résistance de chaque phase est de 0,016 ohm à chaud ; le poids de cuivre utilisé sur l'inducteur atteint seulement 60 kg.

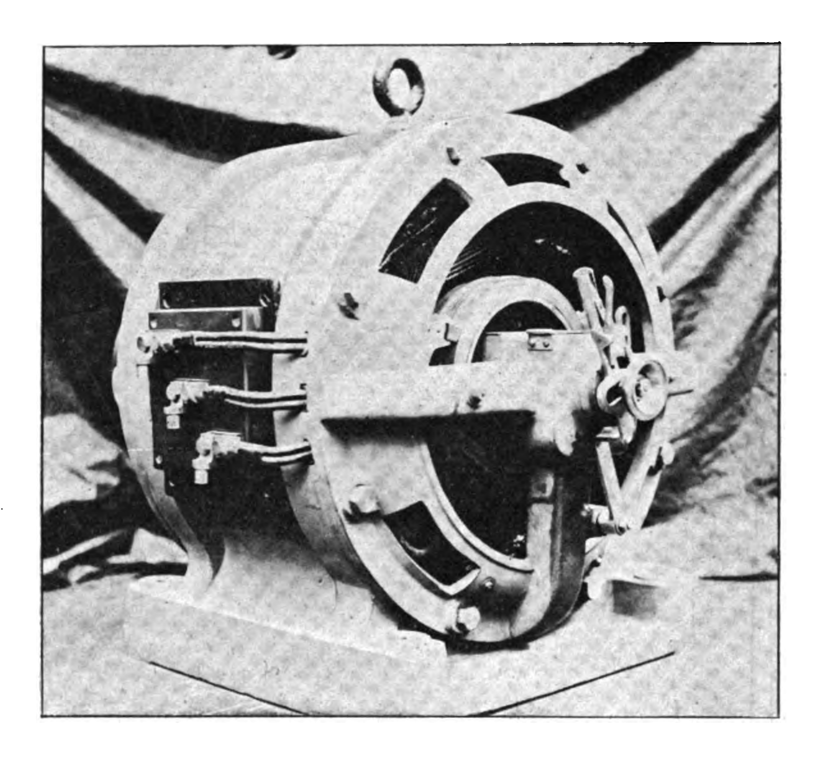


Fig. 7. — Moteur asynchrone triphasé de 60 chevaux de la Compagnie de Fives-Lille.

L'induit mobile est porté par une couronne en fonte en deux parties, d'une constitution analogue à celle de l'alternateur décrit plus haut.

Son diamètre extérieur est de 71,8 cm et sa hauteur radiale de 6,5 cm ; la largeur est de 16 cm.

La surface extérieure de l'induit est percée de 252 rainures dans lesquelles est réparti l'enroulement.

Chaque rainure comporte une barre de 70 mm² de section et les conducteurs d'une même phase sont réunis en série par des pièces de connexions en V dont les arêtes terminées en queue d'aronde sont retenues comme celles des dynamos précédentes par anneau en fer forgé fixé sur le support.

Chaque phase, comporte 84 barres réunies en série et les 3 phases sont groupées en étoile.

La résistance par phase est de 0,014 ohm et le poids de cuivre induit de 70 kg.

Les extrémités libres de trois phases couplées en étoile, aboutissent à trois bagues en bronze montées sur un support en fonte fixé sur l'arbre du moteur.

Le support des porte-balais est venu de fonte avec le palier.

Le poids total du moteur est de 1 500 kg.



Résultats d'essais. — La puissance apparente absorbée par le moteur, pour une charge de 60 chevaux sur la poulie, est de 53,4 kilovolts-ampères et le facteur de puissance de 0,9, ce qui correspond à une puissance vraie fournie à l'inducteur de 48 kilowatts. Le rendement est par suite de 0,92

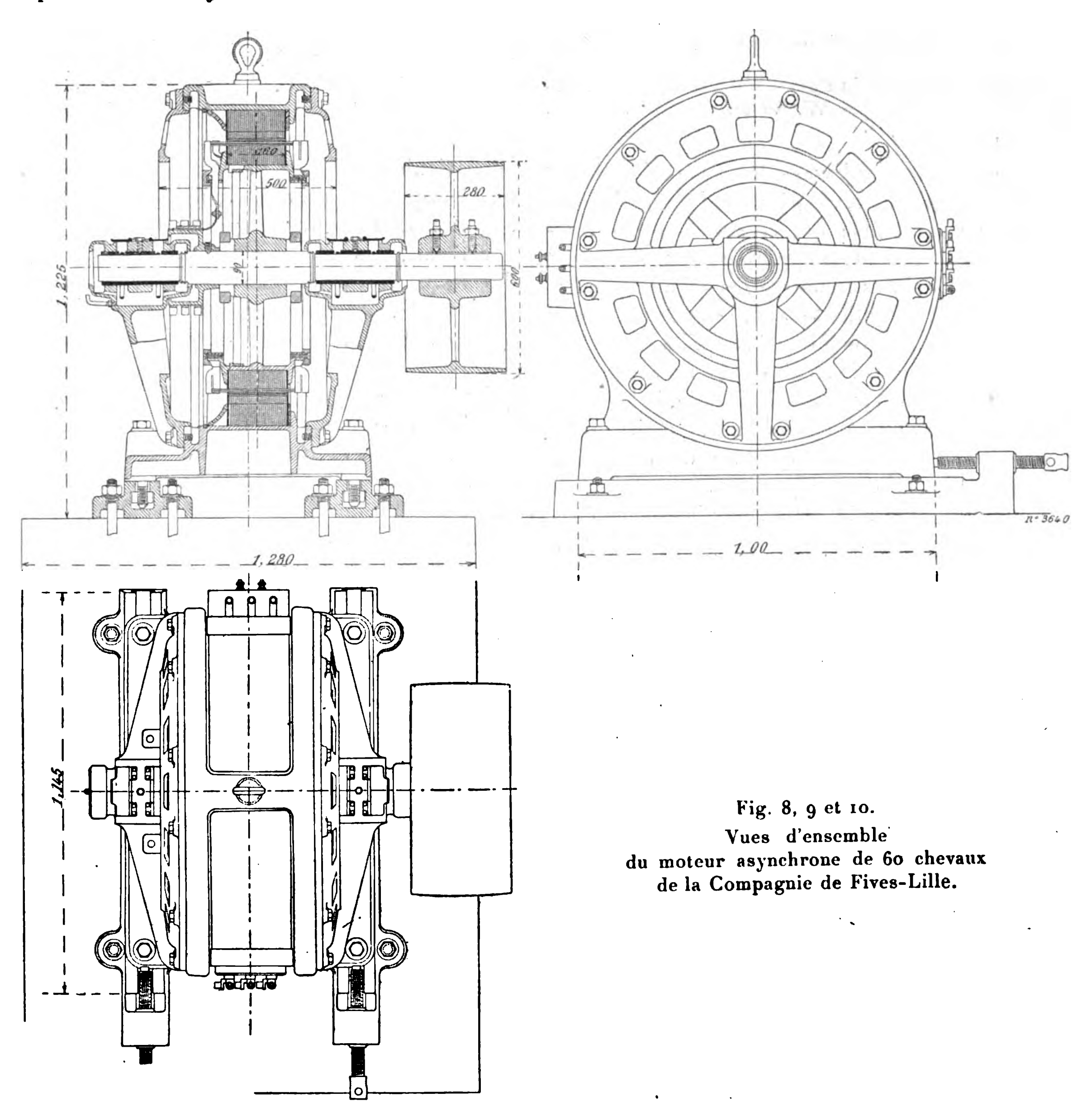


Fig. 8, 9 et 10.
Vues d'ensemble
du moteur asynchrone de 60 chevaux
de la Compagnie de Fives-Lille.

Le glissement de l'induit en charge est de 4,2 p. 100.
Le courant dans l'inducteur correspondant à la pleine charge est de 162 ampères.

J. REYVAL.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

DÉCHARGE ÉLECTRIQUE

Recherches sur la décharge électrique dans les gaz raréfiés, par **W. Wien**. *Dr. Ann.*, t. V, p. 421-436, juin 1901.

D'après Riecke et Ewers, les rayons-canal sont constitués par les ions positifs du métal de la cathode; Bose pense que ce sont des ions empruntés à l'anode. Ces hypothèses ne paraissent pas très plausibles : comme les rayons-canal se dirigent vers la cathode et la traversent si elle est percée, on ne conçoit guère qu'ils soient formés de particules lancées de la cathode; s'ils étaient des ions empruntés à l'anode, ils seraient transportés tout le long de la trajectoire de la décharge et il devrait en être de même des ions négatifs, ce qui n'a pas lieu.

Pour déterminer le rapport de la charge électrique e à la masse mécanique m de ces particnles, M. Wien a mesuré d'une part la déviation magnétique de ces rayons-canal, d'autre part la quantité d'énergie qu'ils renferment.

La partie du tube à décharges qui contient l'anode est enveloppée d'un écran magnétique. L'un des fonds de cet écran est percé pour laisser passer le tube et à l'intérieur de ce tube est disposé un disque qui continue le fond et sert en même temps de cathode. La protection de cet écran est assez efficace pour que les rayons cathodiques ne soient pas déviés dans l'intérieur par un champ magnétique extérieur dont l'intensité est 2000 CGS. La différence de potentiel de décharge ne subit pas non plus de variation quand on excite le champ.

Pour mesurer la quantité d'énergie transportée par les rayons, ceux-ci sont reçus sur un ruban bolométrique en platine, préparé d'après le procédé de Lummer-Kurlbaum. Ce ruban est disposé de manière que les rayons déviés par le champ magnétique le rencontrent normalement à sa plus grande dimension.

L'intensité du champ magnétique est déterminée au moyen d'une spirale de bismuth, méthode qui permet d'étudier la distribution du champ. L'intensité variait à partir du fond de l'écran jusqu'à l'extrémité du tube à peu près proportionnellement à la distance de cet écran. En admettant cette loi, on peut calculer l'équation de la trajectoire d'une particule à partir d'un point où le champ est nul.

Dans le champ non uniforme, la déviation de la particule est notablement plus petite que dans un champ uniforme dont l'intensité serait égale à l'intensité moyenne du premier

En fait, les expériences montrent que les déviations des rayons-canal par le champ magnétique sont tout à fait irrégulières. Ainsi sur une longueur de 7,5 cm, une partie des rayons n'est pas déviée dans un champ de 1 500 unités, tandis qu'une autre partie est déjà déviée de 2 cm par un champ de 500. On ne réussit pas à obtenir des déviations régulières, même en employant comme source la machine à influence : on sait qu'en raison de la constance du potentiel, on réalise ainsi dans le cas des rayons cathodiques des déviations uniformes.

Autant qu'on peut l'affirmer en raison de ce défaut d'uniformité, la déviation est indépendante de la nature du gaz et du métal de la cathode.

Il existait des rayons déviés de moins de 0,1 cm alors que la différence de potentiel entre les électrodes du tube était de 9000 volts. Pour ces rayons le rapport

$$\frac{e}{m} \leq 10,1.$$

Pour ceux qui, dans le champ le plus faible, était déviés de 2 cm

$$\frac{e}{m} = 36660.$$

La nature différente de ces groupes de rayons s'accuse aussi par les différences de la fluorescence qu'ils provoquent sur le verre. Les rayons peu déviés produisent une fluorescence très faible et seule la luminescence du gaz permet de les reconnaître et de suivre leur trajectoire. Les plus déviés ne produisent guère de fluorescence non plus. Mais il existe des rayons moyennement déviés qui communiquent au verre une magnifique fluorescence, et rendent le gaz

moins luminescent que les rayons peu déviés. La déviation de 1 cm correspond à :

$$\frac{e}{m} = 1010.$$

Ce chiffre est du même ordre de grandeur que ceux trouvés par M. Wien dans ses expériences précédentes.

Rien ne prouve que la différence de potentiel entre l'anode et la cathode agit en son entier sur l'accélération des rayons-canal : mais, de toutes façons, les nombres ci-dessus représentent des limites supérieures du rapport $\frac{e}{m}$.

Dans les valeurs très différentes de ce rapport, il semble bien qu'on n'a pas affaire ici non plus aux atomes chimiques proprement dits.

D'après la décomposition des molécules au moment de la décharge, il se sépare des particules négatives en quantités très différentes, en sorte qu'il en reste de positives ayant des charges libres très diverses. Si toutes ces dernières recevaient l'accélération d'un même champ, leur énergie cinétique devrait être la même. Puisqu'il n'en pas ainsi, c'est que le champ efficace n'est pas le même pour tous. On peut déterminer l'intensité de ce champ en comparant la quantité de chaleur à la quantité d'électricité transportée.

Les différences de potentiel ainsi calculées sont notablement plus faibles que celles qui ont été mesurées. En moyenne, ce sont les rayons peu déviés par le champ magnétique qui proviennent du champ électrique le plus intense.

En tenant compte de cette réduction du champ efficace, on trouve pour la plus petite valeur de $\frac{e}{m}$, $\frac{e}{m} = 3$.

Il y a aussi une autre explication possible : c'est que certaines des particules positives, après avoir reçu leur vitesse initiale, se réunissent à des particules négatives et, par suite, perdent une partie de leur charge libre.

La fluorescence du verre est beaucoup plus vive quand le tube renferme de l'hydrogène, comme l'avait remarqué déjà Goldstein. L'hydrogène est donc plus transparent que les autres gaz pour les rayons-canal comme pour les rayons cathodiques.

M. L.

TÉLÉGRAPHIE

Sur le rôle des antennes en télégraphie sans fil. — M. A. Blondel nous écrit à ce sujet :

« Dans le numéro du 17 août de l'*Éclairage Électrique* vous avez reproduit une très intéressante étude de M. Turpain sur le rôle des antennes dans la télégraphie sans fil, au cours de laquelle l'auteur a bien voulu citer mon nom à propos d'une loi des antennes énoncée dans un rapport présenté au Congrès de 1900 *en collaboration avec M. le capitaine Ferrié.* Cette citation de mon nom seul est incomplète, et je vous demande la permission de signaler que la loi en question résulte d'études poursuivies en collaboration et dans lesquelles M. le capitaine Ferrié a même eu la part la plus active.

» Les résultats obtenus depuis lors, en continuant ces études nous permettront de montrer bientôt qu'il ne subsiste pas de contradiction entre l'expérience et la théorie à laquelle M. Turpain a bien voulu faire très gracieusement allusion, et donneront ainsi satisfaction aux conclusions de sa pénétrante analyse.

» Veuillez agréer, etc. »

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 5 août 1901.

Sur la décharge disruptive dans des électrolytes, par **K.-R. Johnson.** *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 332.

Dans une note présentée à l'Académie le 15 avril 1901, MM. André Broca et Turchini ont communiqué le résultat de leurs expériences sur des décharges disruptives dans des électro-

(1) *Comptes rendus*, t. CXXXII, p. 915. *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 191.



lytes et en ont tiré la conclusion que l'électrolyte se comporte à peu près comme un diélectrique.

M. K.-R. Johnson fait remarquer que c'est précisément ce qu'il avait annoncé dans un artiele signé par la rédaction des *Annalen der Physik*, le 24 février [1]. Il avait fondé cette conclusion, en partie, sur des expériences semblables, publiées dans ces mêmes *Annalen* [2]; il attire l'attention sur ce fait et ajoute au rapport de MM. Broca et Turchini une observation à laquelle il attribue quelque importance, comme contraire à l'explication ordinaiee des phénomènes électrolytiques d'une bobine d'induction.

Il rappelle que dans les expériences citées ci-dessus, il a fait usage d'électrodes à la Wollaston, ce qui lui a permis de faire éclater les étincelles d'une électrode indépendamment de l'autre, la distance explosive étant fournie par le gaz dégagé autour de la pointe de platine et l'étincelle passant entre cette pointe et le fluide. Pour produire les décharges, il a employé une bobine d'induction, un transformateur de Tesla et, enfin, un résonateur de Blondlot. Dans ce dernier cas, la décharge est tout entière supprimée. En employant une bobine d'induction, il a observé que le dégagement des gaz, hydrogène et oxygène, provient seulement du courant induit à la rupture, mais que le courant induit à la fermeture n'exerce aucune action électrolytique visible, ce que l'on peut constater bien aisément en fermant et interromptant le circuit primaire à la main. Les effets électrolytiques proviennent donc des oscillations dont le courant induit est accompagné, mais non pas d'une action alternative des deux courants induits.

M. Johnson ajoute : « Il est difficile de décider si l'arrangement dont ont fait usage MM. Broca et Turchini diffère essentiellement de celui de mes expériences, mais la différence des résultats doit sans doute tenir à la fréquence effective ; il faudrait rechercher si la longueur d'onde calculée par eux correspond à la fréquence effective, ou si les effets proviennent des oscillations (de la fréquence 10^3 environ), lesquelles accompagnent le courant induit à la rupture. »

(1) *Dr. Ann.*, t. V, p. 125. *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 294.

(2) *Dr. Ann.*, t. III, p. 744; *Écl. Élect.*, t. XXVI, p. 180.

Capacité électrique du corps humain, par **G. de Metz**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p 333.

Cette question a été deux fois traitée devant l'Académie, par M. Bordier (1895) et par M. Dubois (1898), qui ont respectivement trouvé que le corps humain possède une capacité électrique égale à 0,0025 et à 0,1650 de microfarad. La différence des valeurs numériques a engagé l'auteur à faire de nouvelles recherches qu'il résume comme il suit :

« J'ai eu l'honneur de faire, à ce sujet un rapport détaillé au Congrès international de physique, réuni à Paris en 1900 ; je suis maintenant en mesure de communiquer à l'Académie mes conclusions définitives, grâce à de nouvelles recherches, faites dans cette direction.

» Le résultat de toutes mes recherches est que la capacité électrique du corps humain est beaucoup moindre que les valeurs assignées par MM. Bordier et Dubois. Sa grandeur n'étant que 0,00011 de microfarad, il fallait des moyens expérimentaux assez délicats pour la mesurer avec sûreté.

» La méthode que j'ai choisie est celle qu'on appelle *balistique*, au moyen de laquelle on évalue les capacités des condensateurs par leurs décharges respectives à travers un galvanomètre [1].

» L'ensemble de ces études m'a démontré qu'il serait illusoire d'assimiler la capacité électrique du corps humain à celle d'un conducteur

(1) Le microfarad-étalon avec ses subdivisions jusqu'à sa 0,001 partie, ainsi que le galvanomètre d'une très grande sensibilité, ont été construits par la maison Siemens-Halske et vérifiés par la Reichsanstalt, à Berlin. Outre ce microfarad-étalon à mica, j'ai commandé à M. Edelmann un condensateur sphérique à couche d'air, d'une capacité de 0,000122 de microfarad, pour les charges à hauts potentiels, le microfarad-étalon ne supportant pas plus de 150 volts de différence de potentiel. Pour charger ces condensateurs et les personnes soumises à l'expérience, j'avais à ma disposition 500 accumulateurs, associables à volonté. Avec ces moyens, les observations présentaient un caractère très régulier et décelaient facilement les millionièmes de microfarad, c'est-à-dire les fractions du centimètre en unités électrostatiques.

Les mesures ont été effectuées sur une vingtaine de personnes, placées dans des conditions variées, pour faire ressortir l'influence des circonstances accompagnantes, telles que : le mode d'isolement, l'effet condensant des surfaces environnantes, le rôle de la pose : debout, accroupi, bras tendu, etc.



de forme ellipsoïdale pour lui fixer d'avance une valeur théorique. L'homme nu ou entièrement vêtu en métal possède des capacités à peu près égales entre elles et sensiblement supérieures à la valeur calculée au moyen des formules connues. Il n'y a donc pas de faculté condensante, comme le supposait M. Bordier, mais on peut affirmer que :

Tableau des capacités électriqaes d'une même personne, en centimètres.

LE MODE D'ISOLEMENT	LA POSE		
	1. Debout, pose normale.	2. Accroupi	3. Debout, un bras au-dessus de la tête.
	cm	cm	cm
I. Au milieu de la chambre, sur un tabouret isolant couvert de paraffine (40 mm). . . .	87,8	76,0	91,2
I'. Au milieu de la chambre, sur le plancher couvert de même paraffine.	133,4	126,7	140,2
II. Au milieu d'un cylindre fermé, en zinc, hauteur égale 212cm, rayon égal 69 cm, sur le même tabouret couvert de paraffine (40 mm)	113,2	101,4	125,0
II'. Au milieu du même cylindre, sur la paraffine (40 mm).	153,7	147,0	165,0
II''. Au milieu du même cylindre, sur une feuille de caoutchouc (15 mm)	180,7	140,2	185,8
III. Au milieu d'un cylindre pareil, mais plus étroit, rayon égal 34 cm, sur le tabouret couvert de paraffine (40 mm). . . .	179,0	190,7	190,7
III'. Au milieu du même cylindre, sur la paraffine (40 mm).	217,9	241,5	228,0

» 1° Le corps humain se charge tout comme un conducteur métallique ;

» 2° Sa capacité électrique reste constante, quand on change le voltage appliqué, de 100 à 1000 volts, entre les limites d'expériences ;

» 3° Elle est exactement égale à la capacité électrique d'un conducteur métallique, de la même forme et des mêmes dimensions, et paraît être en rapport direct avec la taille et le volume de la personne ;

» 4° Sa valeur absolue change avec les circonstances et la pose. Elle atteint sa valeur normale lorsque la personne en question est bien isolée, au milieu d'une grande pièce, loin des surfaces conductrices.

» La capacité augmente très sensiblement aussitôt que l'individu se trouve entouré de surfaces métalliques.

» Le tableau ci-joint donne un aperçu du phénomène étudié sur une même personne.

» On voit donc qu'une même personne possède plusieurs capacités, suivant les circonstances où elle se trouve. Mais la capacité normale pour la pose donnée, étant toujours la plus petite, est par là même caractéristique pour chaque individu. L'ensemble de mes recherches me permet de lui assigner, en chiffres ronds, une valeur moyenne de 10 cm, ou de 0,00011 de microfarad. »

Sur la différence de potentiel et l'amortissement de l'étincelle électrique à caractère oscillatoire, par **F. Beaulard.** *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 336.

En vue de recherches entreprises sur la dispersion électrique par la méthode de Graetz (déviation d'un ellipsoïde convenablement orienté dans un champ électrostatique alternatif) l'auteur a été amené, afin de déterminer la valeur efficace du champ, à étudier la différence de potentiel aux bornes d'un micromètre, entre les boules duquel éclate une étincelle ayant le caractère oscillatoire.

Il a utilisé, à cet effet, le dispositif suivant : des bornes d'une bobine d'induction partent deux fils parallèles A et B, de quelques mètres de longueur, dont les extrémités libres viennent aboutir respectivement aux deux plateaux d'un condensateur, tandis qu'un micromètre à étincelle (muni d'un vernier au $\frac{1}{10}$ de millimètre) placé en dérivation sur les deux fils permet de mesurer la distance explosive de l'étincelle. Un tube à vide, disposé perpendiculairement à la direction des fils, et mobile parallèlement à lui-même, permet de constater l'existence d'un champ électrostatique alternatif, pour des longueurs d'étincelles variables de 0,1 cm à 1 cm.

La mesure de la différence de potentiel (1) lui a donné des valeurs v qui, pour de courtes étincelles, diffèrent peu des valeurs v' trouvées par MM. Bichat et Blondtot; l'écart augmente ensuite, passe par un maximum, pour diminuer de nouveau, et v tend vers v' pour des longueurs d'étincelles d'environ 14 mm. M. Beaulard explique cette différence par l'amortissement plus ou moins rapide de l'excitateur mis en jeu (2).

(1) Cette mesure se fait au moyen d'un électromètre absolu, analogue à celui utilisé jadis par M. Baile; cet appareil de mesures est constitué par un système de deux plateaux parallèles : l'un, à anneau de garde, est suspendu au fléau d'une balance sensible; l'autre peut être déplacé parallèlement à lui-même; la distance des deux plateaux est mesurée au $\frac{1}{10}$ de millimètre. On opère avec une surcharge de $0^{gr},05$; les plateaux, bien isolés, chargés alternativement à des potentiels égaux et de signes contraires, sont rapprochés l'un de l'autre jusqu'au moment où l'équilibre est détruit. Soit v la différence de potentiel déduite de l'application de la formule classique de l'électromètre; le tableau suivant donne, pour des longueurs d'étincelles variables de 0 cm, 1 à 1 cm, les valeurs de v et en même temps les différences de potentiel v' qui correspondent, d'après le travail de MM. Bichat et Blondlot, à la même distance explosive.

mm	v	v'	Différence
1	15,73	16,10	0,37
2	19,67	27,50	7,83
3	23,24	38,20	14,96
4	27,00	47,70	20,70
5	30,85	56,30	25,45
6	34,71	64,90	30,19
7	40,48	71,60	31,12
8	48,12	77,00	28,88
9	70,32	81,60	11,28
10	80,43	84,70	4,27

(2) Supposons, dit-il, avec M. Poincaré (*Les oscillations électriques*, p. 164), que le potentiel soit de la forme

$$V = Be^{-\alpha t} \cos \frac{2\pi}{T} (t + k).$$

Pendant la première période, α étant petit, on a sensiblement

$$V = B \cos \frac{2\pi}{T} (t + k).$$

La distance explosive, mesurée au micromètre, correspond au maximum de V; telle est la signification des nombres v'; celle de v est différente. Avec l'électromètre, l'attraction des plateaux étant proportionnelle, à chaque instant, au carré de la différence de potentiel, on mesure, au contraire, $\int v^2\, dt$, et v correspond, en définitive, à la racine carrée de la valeur de cette intégrale. La valeur de $\int v^2\, dt$, pendant *une période*, est (voir Poincaré, *Les oscillations électriques*, p. 164)

$$B^2 e^{-2\alpha t_0} \int_{t_0}^{t_0+T} \cos^2 \frac{2\pi}{T} (t + k)\, dt,$$

t_0 désignant la valeur de t au début de la période, ou

$$\frac{T}{2} B^2 e^{-2\alpha t_0},$$

et l'intégrale totale $\int v^2\, dt$ a, par suite, la même valeur que la suivante

$$\int_0^\infty \frac{1}{2} B^2 e^{-2\alpha t}\, dt = \frac{B^2}{4\alpha}.$$

Ainsi v^2, déterminé par l'électromètre absolu, correspond à la valeur $\frac{B^2}{4\alpha}$.

On a donc, en définitive,

$$v^2 = \frac{B^2}{4\alpha} \quad \text{et} \quad v'^2 = B^2.$$

On peut, par conséquent, déterminer α.

On trouve les résultats suivants :

1	α = 0,25
2	0,49
3	0,67
4	0,78
5	0,83
6	0,87
7	0,78
8	0,64
9	0,35
10	0,28

Il résulte de ce tableau que :

L'amortissement, très notable pour une étincelle de 1^{mm}, diminue, passe par un minimum pour une distance explosive de 6^{mm}, pour augmenter ensuite et reprendre, au voisinage de 10^{mm}, la valeur qui correspond à une étincelle de 1^{mm}. Ceci peut s'expliquer de la façon suivante : pour une courte étincelle, il y a amortissement notable de l'énergie radiée, à cause de la haute température de l'étincelle; lorsque la longueur de l'étincelle

Sur la transmission des ondes hertziennes à travers les liquides conducteurs, par Charles Nordmann. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 339.

Au cours d'une série de recherches exécutées à l'observatoire de Meudon, Cauterna a étudié la transparence de divers liquides conducteurs pour les oscillations électromagnétiques.

M. Bjerknes a montré, en 1893, que les ondes hertziennes ne pénètrent pas à l'intérieur des métaux au delà d'une couche superficielle extrêmement mince et dont l'épaisseur est de l'ordre du centième de millimètre. On pouvait se demander quelles sont, pour d'autres conducteurs, tels que les électrolytes, les épaisseurs maxima que peuvent traverser les oscillations hertziennes [1].

M. Nordmann a étudié [2] à ce point de vue plusieurs liquides conducteurs :

a. Acide sulfuriqne étendu, au maximum de conductibilité (369 gr par litre).

b. Solution saturée de chlorure de sodium.

c. Solution normale de chlorure de potassium (74,55 gr par litre).

d. Solution de sulfate de magnésie au maximum de conductibilité (424 gr par litre).

Le tableau suivant donne les valeurs trouvées pour les épaisseurs maxima E que peuvent traverser les ondes ; il indique en regard leurs conductibilités spécifiques $\frac{1}{R}$ (celle du mercure étant 10 690).

	E (mm)	$\frac{1}{R}$
SO^4H^2	5	0,73
NaCl	18	0,21
KCl	32	0,098
SO^4Mg	41	0,049

Les valeurs de E du tableau précédent sont

croît, la température s'abaisse, mais pour des étincelles croissantes, l'énergie absorbée par le travail mécanique de l'étincelle croît, et l'amortissement, après avoir diminué, ne tarde pas à redevenir considérable.

Il résulte, en définitive, de ce qui précède, que le système constitué par les fils A et B, le condensateur terminal et le micromètre à étincelle, constitue un excitateur à vibration pendulaire plus ou moins amortie, suivant la distance explosive de l'étincelle, c'est-à-dire suivant la température de l'étincelle et l'énergie mécanique correspondant au travail effectué par celle-ci.

(1) M. Branly a montré en 1899 que, pour plusieurs électrolytes, une épaisseur de 20 cm arrête complètement les ondes; mais sa méthode ne lui a pas permis d'étudier ces liquides sous des épaisseurs différentes de 20 cm.

(2) La méthode employée est la suivante :

Un radioconducteur très sensible à limaille d'or est placé dans une éprouvette en verre fermée hermétiquement par un bouchon et maintenue horizontalement au moyen de fil de fer au centre d'une masse de mercure contenue dans une cuve en bois ; l'éprouvette ainsi plongée dans le mercure constitue une enceinte absolument opaque pour les ondes hertziennes.

Deux fils de cuivre de 1 mm reliés aux pôles du radioconducteur traversent le bouchon de l'éprouvette. L'un d'eux, qui est nu et court, vient plonger dans le mercure ; l'autre émerge verticalement d'environ 1,20 m hors du mercure ; il est parfaitement isolé dans son trajet à travers le mercure, et l'enveloppe isolante est enlevée à l'aide d'un canif à partir d'un point situé à 1 cm environ au-dessus du niveau du mercure.

De la sorte, ce dernier fil constitue une antenne qui peut conduire jusqu'au radioconducteur les oscillations électromagnétiques produites dans le voisinage. La cuve à mercure est placée dans un grand récipient cylindrique en verre, dans lequel on verse le liquide à étudier. Les hauteurs h de ce liquide-antenne sont comptées à partir du point où cesse l'isolement du fil, et une échelle millimétrique est collée à l'intérieur du récipient, de façon que le zéro en soit dans le même plan horizontal que le point où cesse l'isolement du fil.

Dans ces conditions, si l'on produit dans le voisinage des oscillations hertziennes, elles tendent à se propager vers le radioconducteur en suivant la surface du fil-antenne ; mais à partir du point où ce fil plonge dans le liquide, elles ont à vaincre l'absorption produite par une épaisseur h de celui-ci. En donnant à h des valeurs successivement décroissantes, on en trouve une à partir de laquelle la résistance du radioconducteur diminue sous l'influence des ondes hertziennes. Cette valeur correspond à $h = E$.

La mesure des résistances était faite à l'aide d'un pont de Weahtstone que l'on reliait d'une part à l'antenne et d'autre part au mercure de la cuve, de façon à intercaler le radioconducteur. On avait soin, avant chaque mesure, de retirer à l'aide d'une pipette tout le liquide de la cuve pour éliminer les forces électromotrices produites entre le mercure, les fils et l'électrolyte, et qui auraient pu fausser les indications du galvanomètre.

Le générateur d'ondes employé dans ces expériences était un oscillateur de Righi à trois étincelles et intervalle d'huile actionné par une bobine de 15 cm d'étincelles et placé à 30 cm de l'antenne ; l'étincelle oscillante éclate entre deux sphères de laiton de 13 mm de diamètre placées à 2 mm l'une de l'autre et soudées à deux tiges de 5 mm de diamètre et 17 cm de long, dont l'autre extrémité porte deux autres sphères de 16 mm de diamètre; ce système est chargé par 2 sphères de 20 mm reliées à la bobine.

L'auteur a trouvé que, dans ces conditions, l'intensité des ondes transmises au radioconducteur est sensiblement plus grande que lorsque l'oscillateur est placé à 5 mm du radioconducteur et celui-ci privé de son antenne.

On donnait aux épaisseurs h des valeurs successives décroissant chaque fois de 1 mm, et pour chaque valeur de h on mesurait la résistance après trois, puis douze étincelles. Dans presque toutes les expériences, la résistance du radioconducteur a diminué pour les valeurs de E données plus haut, avec trois étincelles seulement, alors que pour des épaisseurs supérieures de 1 mm seulement à ces valeurs douze étincelles ne produisaient aucune action sensible.

les moyennes de plusieurs séries d'expériences faites avec chacun des liquides étudiés. Les résultats ont toujours été sensiblement concordants. Ils peuvent être considérés comme exacts à 1 mm près. Plusieurs expériences faites avec l'acide sulfurique au maximum de conductibilité dans les mêmes conditions, mais sans antenne, c'est-à-dire en coupant le fil-antenne au point de dénudation ont donné pour E une valeur moyenne inférieure de 1 mm à celle donnée ci-dessus pour le même liquide, ce qui, tout en confirmant l'exactitude de la méthode employée, justifie l'emploi de l'antenne, dont le rôle est d'augmenter considérablement l'intensité des ondes qui pénètrent dans le liquide au point où le fil antenne y pénètre lui-même. On peut donc considérer les valeurs de E données dans le tableau ci-dessus comme correspondant à l'extrême limite de transparence pour les ondes hertziennes.

Ces valeurs de E montrent, conclut l'auteur, que, pour les liquides étudiés, les épaisseurs maxima que peuvent traverser les ondes employées, c'est-à-dire *les transparences pour ces ondes, varient dans le même sens que les résistances, mais croissent moins vite que celles-ci.*

***Photomètre physiologique*, par G.-M. Stanoiéwitch.** *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 351.

« Dans les mesures photométriques, on compare une source lumineuse donnée à une autre source, prise comme unité, soit directement, soit en se servant d'une unité intermédiaire. Pour les travaux de laboratoire, ces mesures se font facilement et avec une précision suffisante. Mais, quand il s'agit de déterminer l'intensité de certaines sources lumineuses en dehors des laboratoires, dans les rues, par exemple, on rencontre dans ces mesures de grandes difficultés. Les étalons lumineux (lampe décimale, bougie, lampe Carcel) sont généralement des flammes qui exigent, entre autres conditions, une atmosphère complètement calme, ce qui est très rarement réalisé. Si l'on se sert de l'électricité pour lampe étalon, les difficultés ne sont pas moindres. Le mieux serait de se passer des étalons dans les mesures photométriques, ce qui peut être atteint en se servant du photomètre physiologique dont nous allons exposer la théorie.

» Nous partons du principe qu'une quantité d'énergie lumineuse minimum et constante est nécessaire pour produire l'impression lumineuse sur la rétine de l'observateur. Si l'on se trouve dans un espace complètement obscur, où l'on ne peut distinguer aucun objet en détail, il faudra une quantité d'énergie lumineuse déterminée pour pouvoir distinguer nettement un détail quelconque, un triangle ou un cercle, dessiné, par exemple, sur une feuille de papier. Il est évident que cette quantité minimum varie dans les limites de variation de l'équation personnelle de l'observateur, mais ces variations sont approximativement de même ordre que celles qui influent en général dans les mesures photométriques [1].

[1] Le photomètre rappelle par sa forme une petite lunette de 20-25 cm de longueur et de 4-5 cm de diamètre. D'un côté, un verre dépoli reçoit les rayons dont nous voulons évaluer l'intensité. A 4-5 cm plus loin est fixé un diaphragme iris, dont on peut faire varier l'ouverture extérieurement à volonté ; le tambour du diaphragme est divisé en millimètres. L'ouverture du diaphragme, éclairé par le verre dépoli, se trouve placé au foyer principal d'une lentille convexe, de sorte que les rayons sortant de la lentille se propagent parallèlement. Une partie de ces rayons éclaire une petite ouverture ronde (de 4-5 mm) pratiquée dans une plaque métallique mince, qui se trouve à quelques centimètres plus loin. Cette ouverture est observée de l'autre bout de l'appareil à l'aide d'une loupe.

On se sert de l'appareil de la façon suivante : on ferme presque complètement le diaphragme, de sorte qu'en regardant par la loupe on ne distingue rien du tout. L'œil une fois accoutumé à l'obscurité, on ouvre progressivement le diaphragme jusqu'à ce qu'on puisse distinguer nettement l'ouverture ronde ; on note la division du tambour. En éloignant ou en rapprochant la source lumineuse, on ouvre ou l'on ferme davantage le diaphragme pour apercevoir distinctement la même ouverture. On vérifie de cette manière la loi des carrés des distances à l'aide d'une source lumineuse quelconque.

Pour se servir de l'instrument dans la rue, il faut préalablement le graduer. On place un étalon, la bougie décimale, par exemple, à une distance de 5 m. On note la division du tambour, où l'on aperçoit distinctement la surface ronde. On met ensuite à la même place une autre source lumineuse dont on connait l'intensité, par exemple une lampe Carcel, et l'on note encore la division du tambour. En continuant cette opération avec d'autres intensités connues, on construit une courbe de variations de l'impression produite sur la rétine par des sources différentes, en prenant comme abscisses les divisions du tambour et comme ordonnées les intensités correspondantes.

Une fois dans la rue, on aura simplement le soin de se placer à une distance de 5 m (si la graduation est faite pour cette distance) et d'observer l'apparition de la surface ronde éclairée par la source d'intensité inconnue.



» Nous ajouterons, en terminant, qu'on trouvera peut-être au commencement quelques résultats incohérents : mais, une fois habitué à l'expérience, on détermine facilement les intensités des lampes, en plein air, avec une exactitude de 10 p. 100, ce qui est tout à fait suffisant pour ce genre de mesures. »

Séance du 12 août 1901.

Méthode électro-sonore pour combattre la grêle, par **G.-M. Stanoiéwitch**, *Comptes rendus*, t. CXXXIII. p. 373.

« Il paraît démontré, dit l'auteur, que les perturbations de l'état moléculaire d'un nuage à grêle, produites par une ou plusieurs ondulations, peuvent empêcher la formation de la grêle. Ces perturbations sont produites par des tores gazeux, envoyés dans le nuage par des tirs de canons grandinifuges. D'après les recherches de MM. Pernter directeur de l'observatoire météorologique de Vienne, et Trabert [1], la hauteur du projectile gazeux, dans les cas les plus favorables, ne dépasserait pas 400 m.

» Il s'ensuit que le dérangement de l'état d'équilibre dans le nuage peut être produit quand la hauteur du nuage ne dépasse pas 400 m ou 500 m et que, dans les cas ou les nuages à grêle sont plus élevés, l'action du tir est plus ou moins sans résultat. Par ce fait, entre autres, on peut expliquer les résultats contradictoires présentés au Congrès de Padoue, les 25 et 27 novembre 1900. En effet, dans le cas des orages d'une violence exceptionnelle, les nuages à grêle, venant de loin, sont ordinairement très élevés et le tir ne peut avoir sur eux qu'une action très faible ou nulle.

» Le tore gazeux, envoyé de la surface de la terre, arrive dans le nuage quand il est déjà presque au bout de ses forces, et ses effets ne peuvent pas être considérables, au moins dans beaucoup de cas. Il nous semble préférable de provoquer une forte vibration aérienne dans les hauteurs, de placer la source qui produit les perturbations dans le sein même du nuage ou à peu près. Pour cela, il faudrait attacher, soit à un cerf-volant (semblable à ceux qui sont employés dans la météorologie moderne pour le sondage de l'air), soit à un petit ballon captif, une forte sonnerie ou sirène électrique, à son grave ou aigu, et produire dans le nuage lui-même des vibrations aériennes beaucoup plus fortes que celles qui sont apportées par les tores. En pouvant changer à volonté la hauteur du ballon, on se placera toujours dans les meilleures conditions. Le ballon ou cerf-volant sera attaché par un fil d'acier, accompagné de deux fils de cuivre ou d aluminium isolés, qui conduiront le courant d'une batterie placée sur le sol. On pourra aussi faire monter la batterie, si la force ascensionnelle du ballon est assez grande... »

Séance du 19 août

Sur la valeur absolue du potentiel dans les réseaux isolés de conducteurs présentant de la capacité, par **Ch.-Eug. Guye**, *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 388.

L'auteur s'exprime ainsi :

« La connaissance de la valeur *absolue* du potentiel, dans un réseau de conducteurs parfaitement isolé, offre un intérêt particulier. C'est cette connaissance qui permet de se rendre compte de l'isolement à donner aux diverses parties du réseau par rapport au sol ; c'est elle également qui permet de prévoir les dangers d'un contact fortuit avec un point quelconque d'une canalisation présentant de la capacité.

» Le but de cette note est donc de donner de cette question une solution aussi générale que possible, et de montrer comment la distribution du potentiel dépend de la capacité des diverses parties du réseau.

» Considérons un nombre quelconque n de conducteurs isolés, en présence d'un plan indéfini au potentiel zéro (sol) ou enveloppés complètement par un conducteur au potentiel zéro (armure).

» Nous pouvons supposer que ces n conducteurs sont reliés d'une façon quelconque à des sources d'électricité, isolées du sol et sans capacité (dynamos polyphasés, par exemple).

On notera la division du tambour et, avec ce chiffre comme abscisse, on trouvera immédiatement, à l'aide de la courbe, l'ordonnée correspondante, c'est-à-dire l'intensité de la source en bougies décimales. On conçoit que, dans une même soirée, on pourra déterminer l'intensité d'un nombre considérable de lampes.

Pour éviter toute sorte d'erreurs, la plaque qui porte l'ouverture ronde peut tourner et présenter ainsi à l'œil successivement d'autres ouvertures de formes différentes, en forme de triangle, de carré, de croix, etc., toutes ces ouvertures ayant une même section absolue.

[1] Pernter et Trabert, *Untersuchungen über das Wetterschiessen*. Vienne, 1900.

» Quelles que soient les lois suivant lesquelles varieront les différences de potentiel entre les n conducteurs, la somme algébrique des charges du système isolé sera à chaque instant algébriquement nulle ; les sources d'électricité produisant toujours les deux électricités en quantités rigouroueement égales, et l'électricité déueloppée ne pouvant s'accumuler que sur les conducteurs qui seuls présentent une capacité appréciable.

» Dans ces conditions, il est possible d'établir une relation donnant la valeur absolue du potentiel sur chacun des conducteurs, si l'on connaît les coefficients de capacité et d'induction électrostatiques, ainsi que les différences de potentiel *relatives* maintenues par les sources entre les n conducteurs, l'isolement étant supposé parfait. Il suffit, pour cela, d'admettre, que les variations de potentiel sont suffisamment lentes pour que l'équilibre électrostatique puissent être considéré comme atteint à chaque instant.

» Soient, en effet,

$$v_2 - v_1 = f(t), \qquad (1)$$
$$v_3 - v_1 = \varphi(t), \qquad (2)$$
$$\ldots\ldots\ldots,$$
$$v_n - v_1 = \psi(t) \qquad (k)$$

les expressions donnant, en fonction du temps, les différences de potentiel relatives entre conducteurs.

» D'autre part, les équations générales de l'équilibre électrostatique sont :

$$m_1 = \gamma_{1.1}v_1 + \gamma_{1.2}v_2 + \ldots + \gamma_{1.n}v_n + \gamma_{1.0}v_0,$$
$$m_2 = \gamma_{2.1}v_1 + \gamma_{2.2}v_2 + \ldots + \gamma_{2.n}v_n + \gamma_{2.0}v_0,$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$m_n = \gamma_{n.1}v_1 + \gamma_{n.2}v_2 + \ldots + \gamma_{n.n}v_n + \gamma_{n.0}v_0,$$

tous les termes en v_0 étant nuls par hypothèse.

» Si nous additionnons ces dernières équations membre à membre, en tenant compte de ce que la somme algébrique des charges de n est nulle, il vient

$$0 = \Gamma_1 v_1 + \Gamma_2 v_2 + \ldots + \Gamma_n v_n, \qquad (1)$$

expression dans laquelle.

$$\Gamma_1 = \gamma_{1,1} + \gamma_{2,1} + \ldots + \gamma_{n,1},$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots,$$
$$\Gamma_n = \gamma_{1,n} + \gamma_{2,n} + \ldots + \gamma_{n,n}.$$

» Enfin en remplaçant, dans (I), $v_2, v_3 \ldots . v_n$ par leur valeur déduite des équations (1) à (k) on obtient

$$v_1 = -\frac{\Gamma_2 f(t) + \Gamma_3 \varphi(t) + \ldots + \Gamma_n \psi(t)}{\Gamma_1 + \Gamma_2 + \ldots + \Gamma_n} \qquad (2)$$

expression recherchée.

» *Cas particuliers.* — 1. Lorsque chacun des n conducteurs est entouré d'une armature au potentiel zéro, tous les coefficients d'induction électrostatique entre les n conducteurs deviennent nuls et l'on a

$$\Gamma_1 = \gamma_{1,1}, \quad \Gamma_2 = \gamma_{2,2}, \quad \ldots, \quad \Gamma_n = \gamma_{n,n}.$$

» 2. Si les n conducteurs sont disposés comme dans un câble symétrique, il est facile de voir que

$$\Gamma_1 = \Gamma_2 = \ldots = \Gamma_n,$$

et l'expression du potentiel devient :

$$v_1 = -\frac{f(t) + \varphi(t) + \ldots + \psi(t)}{n}.$$

» Si le n^{eme} conducteur enveloppe tous les autres on a

$$\Gamma_1 = 0, \quad \Gamma_2 = 0, \quad \ldots, \quad \Gamma_n = 0,$$

et l'expression du potentiel prend la forme indéterminé $\frac{0}{0}$; c'est le cas des câbles concentriques. La valeur absolue du potentiel peut alors aisément être déterminée de la façon suivante : on a précédemment,

$$m_1 + m_2 + \ldots + m_n = 0 = -m_0,$$

en désignant par m_0 la charge qui recouvre intérieurement l'armure ou le sol, on a donc

$$m_0 = \gamma_{0,0}v_0 + \gamma_{n,0}v_n ;$$

il en résulte $v_n = 0$; m_0 et v_0 étant séparément nuls et $\gamma_{n,0}$ diffèrent de zéro. *Le potentiel du conducteur enveloppant est donc toujours nul ;* c'est d'ailleurs ce que confirme l'expérience, un téléphone branché entre le conducteur périphérique d'un câble et la terre ne donnant aucun son, si le réseau est parfaitement isolé.

» Le potentiel V_n étant connu, on en déduira les valeurs absolues des potentiels des autres conducteurs au moyen des équations (1) à k.

» 4. Généralement les différences de potentiel relatives entre les n conducteurs seront, ou constantes (courant continu), ou pratiquement polyphasées ; ce qui permettra le plus souvent de simplifier l'expression (II). »

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Travaux de la 1re section.

Sur le couplage en parallèle des alternateurs actionnés individuellement par des moteurs à vapeur. — Tel est le sujet d'actualité que la 1re section de la Société, présidée par M. Maurice Leblanc, a mis à l'ordre du jour de ses séances.

Dans la séance du mois d'avril a été élaboré un programme provisoire des nombreuses questions que soulève cette étude [1]. Les séances suivantes ont été consacrées à l'adoption de la définition du *coefficient d'irrégularité* et à l'examen de renseignements fournis par divers constructeurs sur les valeurs de ce coefficient.

Coefficient d'irrégularité et écart angulaire maximum. — La définition du coefficient d'irrégularité proposée dans le programme provisoire a été l'objet de l'observation suivante de M. Potier :

---

[1] Voici le détail de ces questions ;

I. *Définition du coefficient d'irrégularité d'une machine à vapeur.*

On suppose que la machine a sa charge normale et qu'elle a à surmonter un couple résistant constant.

On désigne par :

K le coefficient d'irrégularité ;

N_1 la vitesse maxima de la machine exprimée en tours par minute, pendant la durée d'un tour ;

N_2 la vitesse minima de la machine exprimée en tours par minute, pendant la durée d'un tour ;

N le nombre de tours par minute de la machine.

On propose de définir le coefficient K par la relation suivante :

$$K = \frac{N_1 - N_2}{N}.$$

II. *Détermination théorique de ce coefficient d'irrégularité à différentes charges.*

MM. les constructeurs de machines à vapeur sont instamment priés de nous fournir des diagrammes relevés sur leurs divers types de machines à simple ou multiple expansion, avec pistons en tandem ou à manivelles croisées pour différentes charges. Prière de bien vouloir nous faire connaître en même temps, les courses des pistons, les longueurs des bielles, les vitesses de rotation et les mouvements d'inertie des volants.

III. Détermination expérimentale du coefficient d'irrégularité.

Nous prions MM. les constructeurs de bien vouloir mettre à notre disposition les appareils dont ils se servent dans ce but. Nous demanderons à MM. les directeurs de station centrale de nous laisser relever, avec ces appareils, les coefficients d'irrégularité de leurs machines.

Ces relevés seront faits, autant que possible, sur des machines dont les coefficients d'irrégularité auront été déterminés théoriquement, pour que l'on puisse comparer les résultats obtenus dans les deux cas.

IV. Valeur maxima du coefficient d'irrégularité que l'on peut admettre pour une machine à vapeur conduisant un alternateur isolé : 1° Si les courants doivent servir uniquement à l'éclairage ; 2° Si ces courants doivent alimenter des moteurs (synchrones, commutatrices, etc.).

Comment varie cette valeur maxima avec la fréquence des courants ?

V. Influence du coefficient d'irrégularité sur l'amplitude des mouvements d'avance ou de retard que peuvent prendre l'une par rapport à l'autre, deux machines à vapeur identiques conduisant des alternateurs associés en parallèle.

VI. A égalité de coefficient d'irrégularité, l'amplitude maxima de ces mouvements ne dépendra-t-elle pas du type de machines employé : à détente simple ou multiple, à pistons en tandem ou à manivelles croisées ?

VII. Quelle est la valeur maxima du coefficient d'irrégularité que l'on peut admettre, pour des machines à vapeur appelées à conduire des alternateurs associés en parallèle : 1° Si les courants doivent servir uniquement à l'éclairage ; 2° Si ces courants doivent alimenter des moteurs (synchrones, commutatrices, etc.).

Comment varie cette valeur maxima avec la fréquence des courants.

VIII. Accrochage des alternateurs, moyens d'amener rapidement leur vitesse à une valeur rigoureusement déterminée, Précautions à prendre à ce moment

IX. Perturbations électriques au moment de la mise en marche, pouvant occasionner des variations dans l'éclairage ou le décrochage des moteurs synchrones et des commutatrices.

X. *Phénomènes de résonance électromagnétique.*

Danger que présentent au point de vue du maintien du *synchronisme* les *variations lentes* de vitesse dues aux *oscillations* des *régulateurs.*

XI. *Inégalité* de la *répartition* de la charge entre les machines *accouplées* produites par les *différences de réglage* de leurs régulateurs. Degré d'*isochronisme* qu'il convient de donner à ces appareils. Dangers de *coups d'eau* dans le cas où l'une des machines viendrait à être mue par son alternateur.

Mesures de précaution à prendre.

Moyens pratiques de n'employer qu'un seul régulateur pour régler la vitesse d'un nombre quelconque de moteurs à vapeur actionnant des alternateurs groupés en parallèle.

XII. *Effets des variations brusques de charge.* Les machines ne peuvent passer d'un état de régime à un autre sans que leur vitesse n'ait subi une série d'*oscillations* dont *l'amplitude* va en diminuant graduellement.

Ces *oscillations* peuvent amener des *désynchronisations*, par suite de phénomènes de *résonance électromagnétique*. Comparer à ce point de vue, les machines à simple et à multiple expansion.

XIII. En cas de *désynchronisation* des alternateurs, ne peut-on faire en sorte que l'admission de vapeur soit immédiatement interrompue, dans les machines qui conduisent les *alternateurs accouplés* en parallèle.

« Ce serait fâcheux d'adopter comme coefficient d'irrégularité $\frac{N_1-N_2}{N}$, quand, à l'étranger et en France on a adopté $\frac{N_1-N_2}{2N}$; cette seconde manière donne au constructeur l'innocent plaisir de publier des coefficients plus ronflants.

» Il est admis, en général, qu'un réglage à 1 p. 100 de n'importe quoi, signifie que ce n'importe quoi oscille entre 99, 100 et 101 p. 100 de sa valeur moyenne. »

A la suite de cette observation, il a été convenu, dans la séance du 6 mai, que :

« Si l'on désignait par N_1 la vitesse maximum d'une machine à vapeur, par N_2 sa vitesse minimum et par N sa vitesse moyenne pendant la durée d'un tour, on appellerait *coefficient d'irrégularité* le rapport $\frac{N_1-N_2}{2N}$ ».

M. Potier ayant également fait observer que le coefficient d'irrégularité n'a pas la même importance pour les électriciens que « l'écart angulaire maximum entre la manivelle et une manivelle idéale ayant un mouvement uniforme », il a été aussi décidé, dans cette même séance, que :

« 1° L'on conseillerait de substituer désormais à la notion du *coefficient d'irrégularité*, celle de *l'écart angulaire maximum* θ entre la manivelle et une manivelle idéale ayant un mouvement uniforme.

» 2° L'on demanderait aux électriciens de bien vouloir renseigner la section sur la plus grande valeur que l'on peut laisser prendre, sans inconvénient, à l'angle θ, ou plutôt à l'angle $p\theta$, si l'on désigne par $2p$ le nombre des pôles de l'alternateur ([1]).

» 3° L'on demanderait aux constructeurs de machines à vapeur de bien vouloir communiquer les documents nécessaires pour la prédétermination de l'angle $p\theta$ avec les différents types de machines qu'ils construisent, fonctionnant à divers degrés de charge. »

Communications de M. Labour et de M. Chevrier. — A la séance du 3 juin ont été examinés deux travaux communiqués l'un par M. Labour, l'autre par M. Chevrier. M. Labour a fait connaître les conditions qu'impose la Société « L'Eclairage électrique » à ses constructeurs de machines à vapeur. M. Chevrier a donné des courbes de la variation de la vitesse en fonction du temps, relevées sur les alternateurs de l'usine d'Issy avec un appareil spécial de la maison Ganz.

Le procès-verbal de la séance du 3 juin résume comme il suit ces deux travaux :

« 1° M. Labour admet, comme limite supérieure de l'angle $p\theta$, 45°. Dans ces conditions, il a pu accoupler des alternateurs commandés par des machines à vapeur avec d'autres alternateurs commandés par des turbines et situés à 80 km des premiers.

» Il a observé d'ailleurs que, lorsqu'un alternateur à la fréquence 50 était seul en service, on pouvait laisser l'angle $p\theta$ atteindre 60°, sans que la constance du voltage en parût affectée.

» Il fait remarquer que l'on peut déterminer la masse du volant capable de limiter l'angle $p\theta$ à 45°, de la manière suivante, pour des alternateurs à la fréquence 50 :

» 1ª Pour les machines compound tandem à une seule manivelle, la mise en vitesse ne doit être obtenue qu'après quarante coups de piston;

» 2ª S'il s'agit de machines compound tandem à deux manivelles décalées de 90°, il suffit que la mise en vitesse ne soit obtenue qu'au bout de douze coups de piston.

» Le travail de M. Labour contient beaucoup d'autres renseignements précieux que nous utiliserons plus tard.

» Nous demanderons à ses collègues de nous donner des renseignements analogues. Nous serions particulièrement désireux de connaître la valeur maxima qu'il convient de laisser prendre à l'angle $p\theta$ lorsque l'alternateur doit desservir des commutatrices.

» 2° Les alternateurs, dont M. Chevrier a relevé les courbes, sont conduits par des machines compound à deux manivelles décalées de 90° à la vitesse de 120 tours. Ils ont quarante pôles.

» Un premier examen de ces courbes montre des particularités curieuses :

» L'une d'elles révèle la présence d'un à-coup très sensible qui se reproduit périodiquement tous les huit tours.

» D'autres relevés, faits sur un alternateur marchant d'abord isolément, puis accouplé en parallèle, montrent que le coefficient d'irrégularité d'une machine est beaucoup plus grand (au

([1]) M. Potier indique le procédé suivant pour la détermination de $p\theta$: On utilise les dents du volant de l'alternateur pour fermer le circuit d'un électro-aimant inscrivant sur un tambour, en face d'un électrodiapason. Ce procédé est plus précis que toute inscription chimique; le retard de l'électro n'a aucune influence.

moins trois fois) lorsque la machine travaille en parallèle que lorsqu'elle travaille isolément.

» On croyait généralement le contraire.

» Il est fort à désirer que l'on nous procure d'autres courbes de ce genre, afin que l'on puisse savoir s'il s'agit d'une loi générale ou d'une particularité relative au matériel de l'usine d'Issy. »

Diagrammes de courbes des moments des machines a vapeur. — Pour la détermination *a priori* des angles $p\theta$ les conducteurs de machines à vapeur ont été invités à communiquer des diagrammes relevés sur leurs divers types de machines, à divers degrés de charge ainsi que les autres éléments nécessaires à la prédétermination de la courbe des moments, tels que courses de piston, longueur des bielles, calages des manivelles. Il leur a été également demandé de communiquer ces courbes des moments; M. Boucherot, avec le concours de M. Janet et de ses élèves, a bien voulu se charger d'établir les développements de Fourrier représentant ces courbes des moments.

Communications de M. Loppé et de M. David. — Ces questions ont donné lieu à deux communications, l'une de M. Loppé, l'autre de M. David; les procès verbaux des séances du 3 juin et du 1er juillet les résument comme suit :

« 1° M. Loppé nous a communiqué des diagrammes relevés sur une machine à vapeur Crépelle et Garand, compound à deux cylindres (manivelles à 90°) conduisant, par courroie, une dynamo Labour aux charges de 370 et de 470 kw.

» Il a, en même temps, tracé les courbes des moments moteurs.

» Ces courbes sont très remarquables et d'une richesse extraordinaire en harmoniques. Il y a certainement lieu pour les électriciens de s'en préoccuper, car il doit leur correspondre, dans les courbes de force électromotrice, des harmoniques dont on ne soupçonnait pas l'existence.

» M. Loppé a, en même temps, mis à notre disposition des tables qu'il a dressées avec le plus grand soin et qui faciliteront beaucoup la prédétermination des courbes de moment.

» 2° M. David, ingénieur en chef de la maison Weyher et Richemond, a bien voulu faire pour nous un travail analogue des plus importants, portant sur des machines monocylindriques et renfermant de très nombreux exemples.

» Ce qui frappe au premier abord, lorsque l'on compare les courbes de moment ainsi obtenues à celles de M. Loppé, c'est leur bien moins grande complexité.

» Il semble que, à ce point de vue très spécial de la diminution du nombre des harmoniques, il y ait un avantage imprévu en faveur des machines monocylindriques. Ceci dit, bien entendu, sous toutes réserves.

» M. David a joint à son dossier un tableau qui met en évidence l'influence, sur le coefficient d'irrégularité d'une machine, des moindres modifications apportées à la distribution.

» Ce tableau montre, en même temps, avec quelle rapidité croît le coefficient d'irrégularité d'une machine lorsque sa charge augmente.

» Trois types de machines monocylindriques, à quatre distributeurs et à condensation, de la maison Weyher et Richemond, ont été particulièrement étudiés par M. David.

» Les conditions de fonctionnement de ces machines et les résultats des calculs de M. David sont résumés dans le tableau ci-dessous (page 464) [1].

» Connaissant les diagrammes relevés sur ces machines, les longueurs de leurs bielles et manivelles et les poids des pièces à mouvement alternatif, M. David a dressé des courbes représentant, dans chaque cas, en fonction du temps, les variations : 1° De l'effort tangentiel dû à la pression de la vapeur; 2° De l'effort tangentiel dû

[1] L'examen des nombres contenus dans les deux dernières colonnes de ce tableau montre que l'on a sensiblement $K\theta = 32$. L'angle θ pourrait donc se déduire pratiquement du coefficient de régularité, dans le cas des machines monocylindriques. Reste à savoir s'il en est de même pour les machines à plusieurs cylindres et si le produit $K\theta$ conserve la même valeur.

On trouve que le coefficient de régularité de la troisième machine est égal à 394, lorsqu'elle fournit 20 200 kgm par tour, alors qu'il n'est plus égal qu'à 272, lorsqu'elle ne fournit que 3 410 kgm.

Or, nous avons vu qu'en général le coefficient de régularité d'une machine augmente quand sa charge diminue. Ce coefficient devrait donc être meilleur pour 3 410 kgm que pour 20 200 kgm.

S'il n'en est pas ainsi, c'est que les conditions de fonctionnement d'une machine sont modifiées, pour les très petites introductions, par l'influence de l'inertie des pièces en mouvement alternatif. Cette inertie, régulatrice dans les conditions de marche ordinaires, devient perturbatrice à vide.

Dans le cas actuel, si l'on ne tenait pas compte de son inertie, on aurait :

Pour 20 200 kgm par jour . . $K = 223$ au lieu de 394
Pour 3 4100 grm par jour. . . $K = 757$ au lieu de 272.

Machines monocylindriques de la maison Weyher et Richemond, à quatre distributeurs et à condensation.

DESTINATION de la machine	DIAMÈTRE DU PISTON	COURSE DU PISTON	PRESSION EFFECTIVE de la vapeur	PRESSION MOYENNE de la vapeur sur le piston	TRAVAIL INDIQUÉ par tours	VITESSE EN TOURS par minute	POIDS DES PIÈCES animées d'un mouvement alternatif	FORCE VIVE DU VOLANT et autres pièces calées sur l'arbre	COEFFICIENT de régularité $k = \frac{V}{\Delta V}$	ANGLE maximum de décalage θ
	m	m	kg	kg	kgm		kg	kgm		°
Conduit, en tandem, une pompe à deux corps à piston plongeur.	0,79	1,55	4,0	1,93	28 500	30	3600	122 000	35	0,8
Conduit, par transmission intermédiaire, trois alternateurs.	0,575	1,200	6,0	2,4	14 700	60	1200	215 000	122	0,29
Conduit une dynamo directement calée sur son arbre (Station centrale de tramways).	0,65	1,30	6,5	2,37	20 200	90	2000	780 000	394	0,074
Conduit une dynamo directement calée sur son arbre (Station centrale de tramways)	0,65	1,30	5,0	0,4	3 410	90	2000	780 000	272	0,133

à l'inertie des pièces à mouvement alternatif; 3° De l'effort tangentiel résultant.

» L'intégration de cette dernière courbe lui a permis de déterminer le travail maximum t que le volant devait successivement emmagasiner et restituer, en supposant le couple résistant constant.

» Si l'on désigne par ΔV la différence entre la vitesse maxima et la vitesse minima de la machine, et par V sa vitesse moyenne, M. David appelle *coefficient de régularité* le rapport $K = \frac{V}{\Delta V}$.

» Si l'on désigne maintenant par M le moment d'inertie du volant, sa force vive moyenne sera $\frac{1}{2} MV^2$. Lorsqu'il subira une variation de vitesse égale à ΔV, il fournira une quantité de travail égale à $MV\Delta V$.

» Mais il faut tenir compte du rendement α du mécanisme. Le travail réellement emmagasiné ou fourni par le volant ne sera égal qu'à $\alpha MV\Delta V$.

» On a donc la relation $\alpha MVdV = t$,

d'où $\Delta V = \frac{t}{\alpha MV}$, et $K = \frac{V}{\Delta V} = \frac{\alpha MV^2}{t}$. Cette formule permet de calculer immédiatement le coefficient de régularité, tel que l'a défini M. David.

» Mais il a été plus loin et a tracé des courbes qui représentent les variations de la vitesse en fonction du temps, ce qui lui était facile, puisqu'il connaissait la loi de variation du couple moteur. En intégrant ces dernières courbes, il a pu déterminer l'angle de maximum de décalage θ. On trouvera dans le tableau ci-dessus les valeurs calculées du coefficient K et de l'angle θ pour les machines étudiées.

» Enfin M. David s'est proposé de vérifier expérimentalement les résultats du calcul. Pour cela, il a monté sur l'extrémité des axes de ces machines un disque recouvert de papier noirci sur lequel un diapason muni d'un style pouvait décrire une courbe de forme sinusoïdale, autour d'une circonférence. Les longueurs comptées sur cette circonférence et comprises entre deux intersections consécutives de cette courbe et de la circonférence, représentaient les angles dont aurait tourné la machine pendant des temps successifs égaux entre eux. Dans ces conditions, il était facile de déterminer l'angle θ.

Le Gérant : C. NAUD.

8e ANNÉE. — TOME XXVIII SAMEDI 28 SEPTEMBRE 1901 N° 39

L'Éclairage Électrique

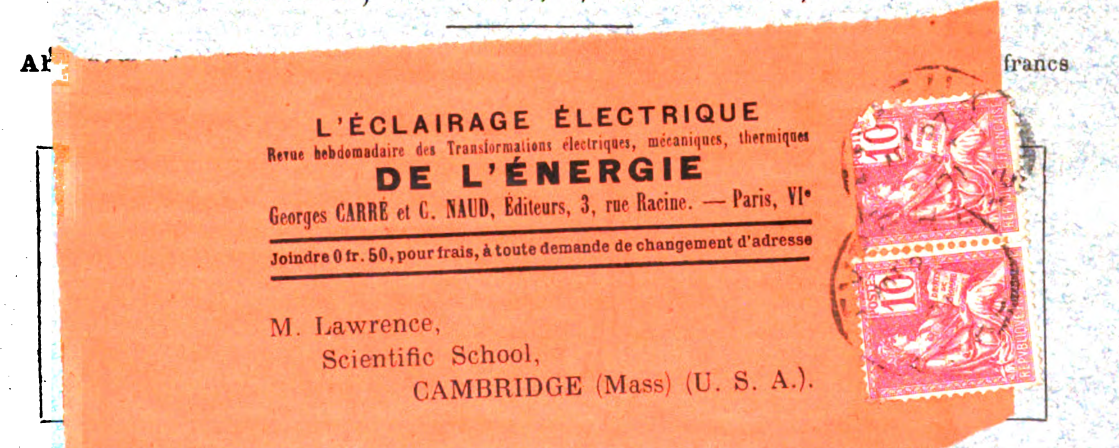
REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

ANCnes LIBries G. CARRÉ ET C. NAUD
C. NAUD, ÉDITEUR, 3, RUE RACINE, PARIS



Tome XXVIII | Samedi 28 Septembre 1901. | 8e Année. — N° 39

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg-Poissonnière (9e arrondissement).

NOUVELLES ET ÉCHOS

LOIS ET RÈGLEMENTS

Instructions sur le montage des installations électriques d'une tension inférieure à 250 volts. — Ces instructions ont été élaborées par le service électrique de l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur. Elles ont été adoptées par les associations françaises d'appareils à vapeur, ayant un service électrique, dans une réunion tenue à Paris les 25 et 27 août 1900, pour servir de bases au contrôle exercé par les dites associations dans les installations électriques industrielles et les locaux y attenant.

Ces instructions concernent les installations électriques industrielles dont la tension, mesurée entre deux conducteurs ou un conducteur et la terre, est inférieure à 250 volts, à l'exclusion des réseaux souterrains et des installations électro-chimiques.

Dans les industries où l'expérience a prouvé que les personnes qui y sont occupées courent des risques particuliers, même à des tensions inférieures à 250 volts, les instructions ci-dessous ne sont pas suffisantes et il y aura lieu de prendre dans chaque cas des précautions spéciales.

A. — Machines et tableaux de distribution.

Article premier. — Les machines électriques à collecteur ou à bagues doivent être montées dans des locaux autant que possible secs, où, dans des conditions normales, il ne peut pas se produire d'explosion par l'inflammation de gaz, de poussières ou de matières filamenteuses.

Art. 2. — L'installation doit être établie de telle sorte que l'apparition éventuelle d'étincelles ne puisse pas provoquer l'inflammation de matières combustibles.

Les bornes des machines et moteurs à courants alternatifs seront entourées de caisses protectrices, de manière à empêcher que des personnes non autorisées y touchent.

Les bâtis des dynamos et moteurs à courants alternatifs, ainsi que ceux des machines à courant continu montées dans des endroits très humides, devront être ou bien isolés et entourés d'un plancher ou tapis isolant ou bien reliés d'une façon spéciale à la terre.

Dans le premier cas, le bois sec peut suffire comme isolant.

Art. 3. — Les tableaux de distribution doivent être construits en matières incombustibles, ou bien, toutes les parties conductrices du courant doivent être montées sur des supports en matière isolante et incombustible. Les fusibles, commutateurs et tous les appareils produisant une interruption de courant, doivent être disposés de telle façon que, lors de la production éventuelle de feux électriques, les matières inflammables voisines ne puissent pas s'allumer; ces appareils sont soumis d'ailleurs à l'article 1er.

Art. 4. — Les tableaux doivent présenter à l'arrière un espace libre d'au moins 60 cm, afin que les raccords et connexions soient accessibles. Lorsque, par suite de l'exiguïté du local, il sera impossible de maintenir cet écartement fixe, on devra prendre des dispositions spéciales pour permettre l'accès facile aux connexions.

Art. 5. — Lorsque le raccordement des machines avec le tableau est souterrain, les câbles seront munis d'une protection efficace contre l'intrusion de l'humidité et les détériorations (choisir de préférence des câbles sous plomb asphaltés ou armés).

Art. 6. — Les pièces conductrices et les raccords des tableaux doivent avoir des dimensions telles, que leur échauffement maximum ne dépasse jamais 20° C. (au-dessus de la température ambiante).

Exception est faite pour les rhéostats, dont la température peut atteindre 200° C., à condition que ces appareils soient fixés sur un cadre en matière incombustible et qu'aucune partie voisine ne puisse s'échauffer de plus de 40° C.

Art. 7. — Les contacts métalliques des interrupteurs et commutateurs doivent être à frottement. La formation d'un arc durable doit être impossible. Les interrupteurs et commutateurs doivent pouvoir être bloqués dans leurs positions extrêmes de fermeture et d'ouverture.

Les contacts devront avoir une surface telle que leur échauffement maximum ne dépasse jamais 20° C. (au-dessus de la température ambiante).

Art. 8. — Tous les conducteurs partant du tableau doivent être munis de coupe-circuits proportionnés aux dimensions des conducteurs à protéger. Les coupe-circuits doivent être construits de manière à éviter, lors de la fusion, la projection du métal liquide et à empêcher la formation d'un court-circuit.

Art. 9. — Les parafoudres montés à l'intérieur des bâtiments sont soumis à l'article 1er.

Art. 10. — Quand les connexions d'un tableau ne seront pas absolument évidentes *a priori*, il sera affiché à proximité un schéma ou dessin schématique du tableau indiquant clairement toutes les connexions ainsi que la destination des différentes lignes qui en partent.

B. Accumulateurs.

Art. 11. — Chaque élément d'accumulateur doit être

isolé d'avec l'étagère, et celle-ci d'avec la terre au moyen de verre, de porcelaine ou de matières analogues non hygroscopiques.

Tout tassement du sol et toute déformation de l'étagère doivent être impossibles. Des dispositions seront prises pour éviter, dans le cas où l'acide viendrait à déborder, que l'étagère ou le local dans lequel elle est montée ne soient détériorés.

Art. 12. — Les locaux renfermant des accumulateurs doivent être ventilés en permanence. Le seul éclairage qui y soit toléré est celui par lampes à incandescence. Pendant la charge il est interdit d'introduire dans le local des objets incandescents ou enflammés.

C. Conducteurs.

Art. 13. — Les densités de courant indiquées ci-dessous ont été fixées en prenant pour cuivre normal celui ayant une résistivité de 1,70 microhm-centimètre à 15° C.

Dans les installations on ne pourra désigner et employer comme *cuivre* que du cuivre ayant une résistivité au plus égale à 1,80 microhm-centimètre à 15° C. Sauf indication spéciale, on admettra comme coefficient de température du cuivre 0,004 en ramenant les températures à 15° C.

Art. 14. — *a*) L'intensité la plus grande qui soit tolérée pour les conducteurs et câbles en cuivre isolés est indiquée dans la table suivante :

L'intensité maxima pour les sections intermédiaires s'obtient par interpolation.

b) Les conducteurs nus jusqu'à 50 mm² sont soumis à la règle précédente ; au-dessus de 50 mm², on peut les charger à raison de 2 ampères par millimètre carré.

Lorsqu'on se sert de fils composés de métaux autres que le cuivre, les sections doivent être augmentées proportionnellement.

c) La section la plus faible tolérée pour les conducteurs isolés est de 0,64 mm² correspondant au fil de 9/10 de millimètre de diamètre.

Le diamètre le plus faible de conducteurs nus situés à l'intérieur des bâtiments est de 2 mm. Celui des conducteurs situés à l'air libre, qu'ils soient nus ou isolés (isolement non compris), en cuivre ou autres métaux, ayant une résistance mécanique au moins égale, est de 2,5 mm.

Art. 15. — *Conducteurs nus*. Les conducteurs nus doivent être protégés contre tout dommage ou contact accidentel. Ils ne peuvent être employés que dans des locaux incombustibles ne contenant pas de matières inflammables, à l'extérieur des bâtiments et dans les salles de machines ou d'accumulateurs, qui ne sont accessibles qu'au personnel de service. Exceptionnellement, les conducteurs nus peuvent être employés dans les locaux, même si ceux-ci ne sont pas incombustibles, lorsqu'il s'y dégage des vapeurs corrosives, à condition que les parties métalliques soient recouvertes d'un enduit qui les protège contre l'oxydation.

Les conducteurs nus ne peuvent être fixés qu'à des isolateurs à cloche. A moins qu'ils ne constituent des

DIAMÈTRE du fil en millimètres	SECTION en millim. carrés	INTENSITÉ en ampères
9/10	0,64	3
10/10	0,78	4
12/10	1,13	5
15/10	1,77	7
20/10	3,14	12
25/10	4,91	17
30/10	7,07	22,5
»	10	30
»	15	40
»	20	50
»	25	60
»	30	70
»	40	85
»	50	100
»	60	115
»	75	135
»	100	175
»	125	200
»	150	235
»	175	260
»	200	290
»	250	340
»	300	400
»	350	450
»	400	500
»	500	600
»	750	800
»	1000	1000

embranchements parallèles qui ne puissent être interrompus ; leur distance minimum doit être :

de 30 centimètres lorsque la portée dépasse 6 m,
— 20 — — — est de 4 à 6 m,
— 15 — — — est inférieure à 4 m.

Leur distance du mur doit être de 10 cm au moins. Dans les salles d'accumulateurs et pour les conduites reliant les accumulateurs avec le tableau, des roulettes isolantes et des distances plus petites sont admissibles.

A l'air libre, les conducteurs nus seront placés à une hauteur de 4 m au moins au-dessus du sol, quand il n'y a pas d'autres règlements à appliquer.

Les conducteurs aériens seront munis au moins d'un parafoudre sur chaque pôle, placés à la sortie de la salle des machines. Ces parafoudres devront rester efficaces, même en cas de coups de foudre répétés. Les parafoudres de conduites à des potentiels différents auront des conduites et des plaques de terre spéciales, ou bien si l'on ne fait usage que d'une seule plaque de terre, les conduites à ces plaques comprendront des résistances non inductives. Les conduites de terre seront en cuivre

d'au moins 25 mm²; on aura soin de constituer une bonne connexion avec la terre en évitant le plus possible les coudes.

Les conducteurs nus qui sont intentionnellement reliés à la terre ne sont pas soumis au présent article.

Art. 16. — *Conducteurs isolés.* *a*) Les conducteurs munis d'une enveloppe double, solidement appliquée sur le fil, imprégnée d'une masse appropriée et composée de matière filamenteuse non cassante, peuvent être employés, tant que les vapeurs corrosives ne sont pas à craindre, n'importe où, s'ils sont montés sur isolateurs à cloche; si, au contraire, ils sont montés sur roulettes ou anneaux isolants, ou fixés au moyen de dispositifs équivalant à ceux-ci, ils ne peuvent être employés que dans des locaux parfaitement secs. Ces conducteurs seront placés à une distance de 2.5 cm les uns des autres.

b) Les conducteurs qui portent, en outre, au-dessous de la double enveloppe filamenteuse susdite, une couche de ruban caoutchouté soigneusement enroulé, peuvent être employés, tant que des vapeurs corrosives ne sont pas à craindre, n'importe où, s'ils sont montés sur isolateurs à cloche; s'ils sont montés sur roulettes, anneaux, pinces ou dans des tuyaux, ils ne peuvent être employés que dans des locaux qui, dans leur état normal, sont secs.

c) Les conducteurs qui sont munis d'une couche isolante ininterrompue en caoutchouc, sans soudure et parfaitement étanche, peuvent être employés aussi, tant que des vapeurs corrosives ne sont pas à craindre, dans des locaux humides.

d) Les câbles sous plomb nu, composés d'une âme en cuivre, d'une forte couche isolante et d'une ou deux couches de plomb formant gaine sans soudure, ne peuvent jamais être mis en contact immédiat avec des matériaux de fixation bons conducteurs, ni avec des corps qui attaquent le plomb (le plâtre pur n'attaque pas le plomb). Ils ne pourront pas être noyés dans la maçonnerie.

Les câbles sous plomb, dont l'âme de cuivre a une section inférieure à 6 mm², ne peuvent être employés que si l'isolation est constituée par du caoutchouc vulcanisé ou des matériaux équivalents.

e) Les câbles sous plomb asphalté peuvent être employés dans des locaux secs et dans le terrain sec, et doivent être posés de manière à ne pas être noyés dans la maçonnerie ou toucher des matières qui attaquent le plomb.

Aux endroits de fixation, la gaine ne doit pas être écrasée ni entamée; l'emploi de crochets à tuyaux comme moyen de fixation est donc prohibé.

f) Les câbles sous plomb, asphaltés et armés, conviennent pour être placés directement en terre, ainsi que dans des locaux humides. L'emploi de crochets à tuyaux est permis.

g) Les câbles sous plomb ne doivent être employés que si l'on fait usage de pièces terminales étanches, de boîtes de jonction ou de dispositifs analogues, empêchant efficacement l'intrusion de l'humidité, tout en assurant une bonne connexion électrique.

h) Lorsque l'isolation est formée par du caoutchouc, le conducteur doit être étamé.

Art. 17. — *Conducteurs multiples.* *a*) Les conducteurs souples câblés amenant le courant aux lampes et appareils mobiles peuvent être employés dans les locaux secs, lorsque chaque conducteur est constitué de la manière suivante :

L'âme en cuivre se compose de fils ayant au moins de 0,5 mm de diamètre; elle est recouverte d'un guipage de coton, qui est lui-même enveloppé d'une couche étanche de caoutchouc, empêchant l'intrusion de l'humidité; puis vient un deuxième guipage de coton et, enfin, une couche tressée en matière résistante, pas plus inflammable que de la soie ou du fil glacé.

La plus faible section de cuivre admissible pour les conducteurs souples est de 0,78 mm² correspondant au fil de 10/10 de millimètre.

b) Les câbles souples ne peuvent être montés à demeure que dans des locaux parfaitement secs et à une distance de 5 mm au moins des murs et des plafonds, sans jamais toucher des objets facilement inflammables.

c) Pour raccorder les câbles souples aux douilles, raccords et appareils, les extrémités des âmes en cuivre doivent être soudées.

Les endroits où se fait le raccordement ne doivent être soumis a aucun effort de traction.

d) Les conducteurs souples multiples peuvent être employés pour le raccordement des lampes et des appareils, même dans les locaux humides ou à l'air libre, lorsque chaque conducteur est confectionné conformément aux indications de l'article 16, *c* et *h*, et que chaque conducteur est protégé par une enveloppe en matière isolante et résistante.

Lorsque les conducteurs souples multiples risquent de tremper dans l'eau (comme par exemple dans les teintureries, brasseries, etc.), ils doivent être entourés d'un tuyau en caoutchouc fermé hermétiquement aux deux extrémités.

Les fils (jusqu'à 6 mm² de section) dont la composition répond au moins aux prescriptions de l'article 16, *b* et *h*, peuvent être câblés ou tordus ensemble, ou logés dans une gaine commune, puis montés à demeure comme les fils simples, conformément à l'article 16 *b*.

Art. 18. — *Montage des conducteurs.* *a*) Tous les conducteurs et appareils doivent, même après leur montage, être accessibles dans toute leur étendue, afin qu'on puisse en tous temps les contrôler ou les remplacer.

b) Connexion des conducteurs. — Les fils ne peuvent être réunis que par soudure ou un mode de jonction équivalent. La liaison des fils par simple torsion de leurs extrémités est interdite.

Pour effectuer les soudures, on ne se servira pas de substances qui attaquent le métal. A l'endroit des jonctions les fils doivent être isolés soigneusement, conformément à la nature de l'isolation.

Les dérivations branchées sur des lignes tendues ne doivent être soumises à aucun effort de traction.

La connexion, avec les tableaux et les appareils, de conducteurs ayant plus de 25 mm² de section, doit s'effectuer au moyen de pièces terminales appropriées ou un autre dispositif équivalent. Les extrémités des conduc-

teurs câblés de section inférieure à 25 mm² doivent être soudées, à moins qu'elles ne soient également munies de pièces terminales.

c) Les croisements des conducteurs entre eux et avec d'autres pièces métalliques doivent être exécutés de manière à éviter les contacts. Lorsqu'il est impossible de les maintenir à un écartement suffisant, il faut interposer des tuyaux isolants ou des plaques isolantes, afin d'éviter tout contact. Tuyaux et plaques doivent être fixés soigneusement et protégés contre tout dérangement.

d) Pour la traversée des murs et des plafonds, un canal suffisamment large doit, si possible, être ménagé, afin de pouvoir faire passer librement les conducteurs d'une manière conforme au genre de montage. Si cela n'est pas possible, on encastrera dans le mur des tuyaux solides en matière isolante — à l'exclusion du bois, — qui permettent de passer commodément les conducteurs. Ces tuyaux doivent dépasser les murs et les plafonds de part et d'autre. Lorsque, dans la traversée des planchers, il est impossible de ménager des ouvertures ou canaux, il faut aussi se servir de tuyaux, mais ceux-ci doivent dépasser le plancher d'au moins 10 cm et être protégés contre toute détérioration.

e) Des enveloppes protectrices seront appliquées partout où les conducteurs peuvent être détériorés; elles seront construites de manière à ce que l'air puisse y accéder librement. On peut aussi protéger des conducteurs au moyen de tuyaux qui, s'ils sont métalliques, seront garnis intérieurement d'une gaine isolante dépassant le tube métallique.

f) Les fils et leurs supports ne pourront jamais être enduits de substances pouvant attaquer la gaine isolante ou le conducteur.

D. Isolation et fixation des conducteurs

Art. 19. — On devra observer les prescriptions suivantes pour la fixation et le montage de toutes sortes de fils :

a) Les isolateurs à cloche ne peuvent être fixés à l'extérieur que dans la position verticale; dans les locaux couverts ils doivent être disposés de manière que l'humidité ne puisse s'amasser dans la cloche.

b) Les roulettes et anneaux isolants doivent être construits et montés de telle façon que le fil soit écarté du mur de 10 mm au moins dans les locaux humides, et de 5 mm au moins dans les locaux secs.

Lorsque les conducteurs longent un mur, il faut les fixer tous les mètres au moins. S'ils sont disposés au plafond, cette distance pourra être exceptionnellement supérieure, afin de s'approprier à la construction du plafond.

c) Les pinces ou taquets de fixation doivent être composées de matière isolante ou, si elles sont métalliques, munies de joues et d'embases isolantes.

Lorsqu'on se sert de pinces ou taquets, il faut également que les fils soient à une distance de 5 mm du mur. Les arêtes des pinces doivent avoir une forme telle qu'elles ne puissent pas endommager la matière isolante.

d) Les conducteurs multiples ne peuvent pas être fixés de telle manière que les brins soient serrés l'un sur l'autre; l'emploi de ligatures métalliques est interdit.

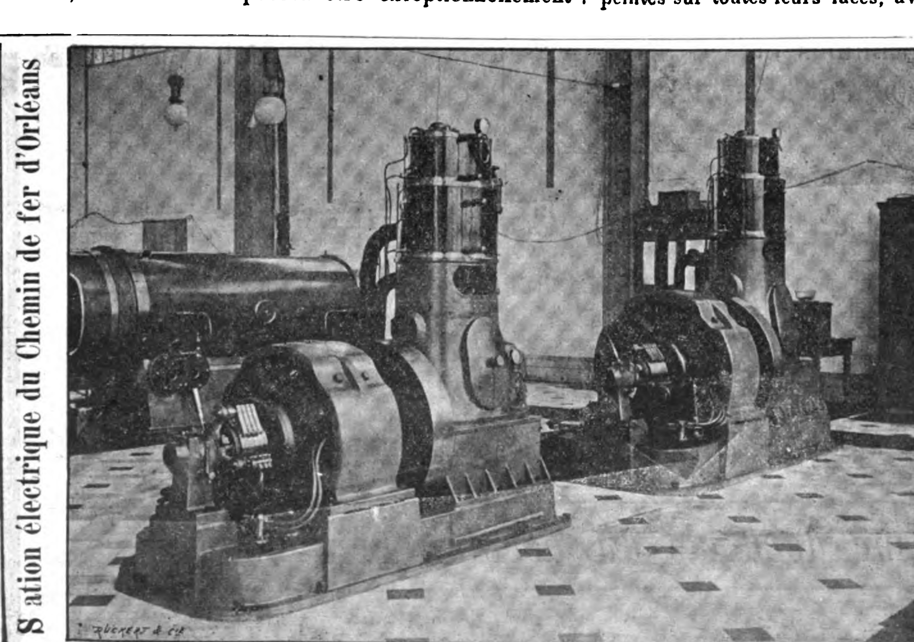
e) On peut disposer les conducteurs dans des tuyaux placés sous le plâtre, dans des murs, des plafonds et des planchers, à condition que les fils soient isolés conformément aux articles 16, *b* ou *c*, et que l'accès de l'humidité soit empêché une fois pour toutes. Il est permis de disposer les conducteurs d'aller et de retour dans le même tuyau; un même tuyau ne doit pas contenir plus de 3 conducteurs. Lorsqu'on se sert de tuyaux à armature métallique pour conducteurs de courants alternatifs, les fils d'aller et de retour doivent être disposés dans le même tuyau. Les branchements des fils ne doivent pas se faire dans les tuyaux mêmes, mais dans des boîtes de jonction, qu'on puisse ouvrir facilement en tous temps. Le diamètre intérieur des tuyaux, le nombre des coudes et leur rayon, ainsi que le nombre des boîtes de jonction, doivent être choisis de telle manière qu'on puisse en tous temps passer ou retirer des conducteurs.

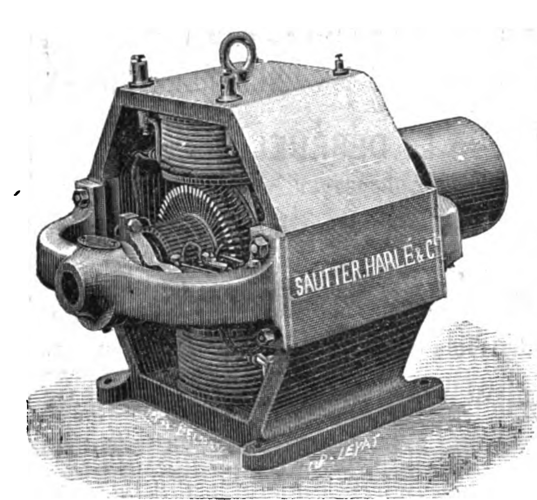
Les tuyaux doivent être construits de telle manière que l'isolation des conducteurs ne puisse pas être entamée par des parties proéminentes ou des arêtes vives; les joints doivent être fermés hermétiquement. Les tuyaux doivent être disposés de façon à empêcher qu'il ne s'y accumule de l'eau. Après montage, l'extrémité supérieure du canal formé par les tuyaux doit être fermée hermétiquement.

f) L'emploi des crampons métalliques, même avec interposition d'un isolant, est interdit pour la fixation des conducteurs.

g) L'emploi de lattes ou moulures en bois est également interdit [1].

[1] Exceptionnellement et dans des locaux parfaitement secs, les moulures en bois peuvent être autorisées, quand elles sont motivées par la présence de duvets ou poussières inflammables qui pourraient s'attacher aux fils. On ne pourra placer que des fils isolés suivant l'article 16 *c* dans les moulures; ces moulures seront en bois dur et sec, imprégnées ou peintes sur toutes leurs faces, avant la pose, avec une ma-





SAUTTER, HARLÉ & Cie

26, avenue de Suffren, 26

PARIS

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889

Hors Concours — Membre du Jury

ÉLECTRICITÉ

ÉCLAIRAGE — TRANSPORT DE FORCE

SCHNEIDER & Cie

Siège social et Direction Générale, à PARIS, 42, rue d'ANJOU

MOTEURS A VAPEUR

Machines Corliss, Machines Compound, Machines monocylindriques à grande vitesse, Machines pour la commande directe des dynamos

MOTEURS A GAZ

Système « SIMPLEX » de M. DELAMARE-DEBOUTTEVILLE. — Moteurs fonctionnant soit au gaz de gazogène, soit au gaz de hauts fourneaux MM. SCHNEIDER et Cie, concessionnaires pour toute puissance. Souffleries et groupes électrogènes actionnés par moteurs à gaz.

ÉLECTRICITÉ

Installations complètes pour la production et l'utilisation de l'énergie électrique, Tramways, Locomotives électriques, Grues, Treuils, Ponts roulants, Monte-charges, Ascenseurs électriques.

DYNAMOS SCHNEIDER TYPE S, A COURANT CONTINU

DYNAMOS système THURY

Dynamos pour électrochimie et électrométallurgie. Dynamos pour fabrication du carbure de calcium

DYNAMOS ET TRANSFORMATEURS A COURANTS ALTERNATIFS

BREVETS ZIPERNOWSKI, DÉRY & BLATY

Appareils à courants diphasés et triphasés. Système GANZ (Brevets N. TESLA)

J. Ig. RUSCH, à DORNBIRN (Autriche)

Ateliers de Constructions mécaniques

Représentants : **GRIMONT et KASTLER, ingénieurs,**

67, boulevard Beaumarchais, PARIS

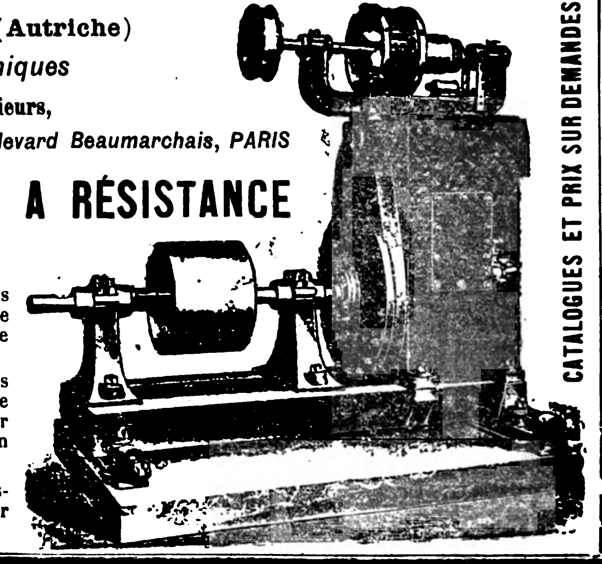
RÉGULATEURS HYDRAULIQUES A RÉSISTANCE

BREVETS RUSCH-SENDTNER

Ce régulateur règle la vitesse des moteurs hydrauliques par la mise en fonction immédiate et automatique d'une résistance égale à la diminution intervenue de la force consommée.

Garanties : 1° Les variations totales en nombre de tours d'une machine sont de 2 1/2 pour cent si l'on débraye la force totale que le régulateur a la charge de freiner et pour laquelle il a été établi ; de 1 1/2 pour cent seulement, si on ne débraye que la moitié de cette force ;

2° Perte maxima : 1 1/2 de la force du régulateur lorsqu'il marche à blanc et qu'il est accouplé directement sur l'arbre du **moteur**.



CATALOGUES ET PRIX SUR DEMANDES

Tome XXVIII. Samedi 28 Septembre 1901. 8e Année. — N° 39.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

EXPOSITION UNIVERSELLE

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 350 KILOWATTS DE LA SOCIÉTÉ DES ÉTABLISSEMENTS POSTEL-VINAY ET DE MM. GARNIER ET FAURE-BEAULIEU

La Société des Établissements Postel-Vinay et MM. Garnier et Faure-Beaulieu avaient exposé en commun deux groupes électrogènes à courant continu destinés au service de l'éclairage. L'un de ces deux groupes, celui qui nous occupera tout d'abord, a une puissance de 350 kilowatts; il est représenté sur la photographie de la figure 1.

Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur de MM. Garnier et Faure-Beaulieu est du type monocylindrique à condenseur.

Les diamètre et course du piston et la vitesse ont les valeurs suivantes :

Diamètre du piston	71 cm
Course du piston	120 »
Vitesse angulaire en tours par minute	90

La pression normale est de 8 kg : cm² et la puissance de 500 chevaux effectifs pour la marche à condensation.

La distribution de la vapeur est du type Corliss avec tiroirs commandés par déclics dits à lame de sabre.

Le cylindre est muni d'une enveloppe de vapeur.

Le condenseur est placé en tandem avec le cylindre, suivant le dispositif adopté généralement par MM. Garnier et Faure.

Le graissage est effectué par un graisseur Henry et par une petite pompe à huile.

**



En dehors de l'induit de la dynamo, le moteur à vapeur comporte un volant spécial.

Le régulateur est du type à boules.

DYNAMO. — La dynamo à courant continu des établissements Postel-Vinay est montée sur l'arbre même du moteur à vapeur, entre le volant et le palier de bout d'arbre ; elle a une puissance de 350 kilowatts sur une tension croissante de 525 à 575 volts ; le débit est par suite de 610 ampères. Elle est étudiée pour un service de traction.

La vitesse angulaire de la dynamo est de 90 tours par minute, et le nombre de pôles inducteurs de 8.

Les figures 2 et 3 représentent des vues d'ensemble de la dynamo qui est d'un type normal de la Compagnie Thomson-Houston, dont MM. Postel-Vinay sont les constructeurs.

Inducteurs. — La carcasse inductrice est constituée par une couronne en acier coulé, en deux parties, dont l'une, la partie inférieure, porte les pattes par lesquelles la dynamo repose sur ses fondations.

Le diamètre extérieur maximum de la carcasse inductrice est de 3,126 m, et sa largeur de 60 cm. Le diamètre intérieur est de 2,57 m environ.

Les pôles inducteurs en acier coulé ont une section rectangulaire et reposent par des parties planes sur la couronne, à laquelle ils sont fixés chacun par deux boulons la traversant complètement.

Les épanouissements polaires sont venus de fonte avec les noyaux.

Les dimensions des épanouissements polaires sont de 62 cm parallèlement à l'axe et de 52 cm dans le sens perpendiculaire.

Le diamètre d'alésage des pièces polaires est de 161,8 cm et l'entrefer de 9 mm.

L'enroulement inducteur est compound.

L'enroulement en dérivation se compose de 8 bobines enroulées sur la demi-hauteur des carcasses et comportant chacune 1 214 spires de fil de 2,4 mm de diamètre ou 4,5 mm² de section.

Les huit bobines à fil fin sont montées en série et la résistance du circuit formé est de 96 ohms à 50° C.

Le circuit série est constitué par une bande de cuivre de 12 cm de largeur et 3 mm d'épaisseur. Chaque noyau porte une bobine de 12,5 spires, et les huit bobines sont disposées en série.

La résistance du circuit d'excitation série est de 0,0082 ohm.

Le poids de cuivre des deux enroulements est de 1 528 kg, dont 840 kg pour l'enroulement shunt et 688 pour l'enroulement série.

Le poids des noyaux inducteurs atteint 6400 kg.

Le poids total de l'inducteur est de 19 000 kg.

Induit. — L'induit est supporté par un croisillon en fonte claveté sur l'arbre et dont les bras sont munis de rainures.

Les tôles induites, partagées en 6 noyaux ménageant entre eux des canaux de ventilation d'une largeur de 1 cm environ, sont serrées entre deux disques et portent des projections s'engageant dans les rainures du support.

Les boulons de serrage sont placés dans ces rainures de façon à être en dehors du champ magnétique.



Avec les deux disques sont venues de fonte des couronnes destinées à maintenir les parties extérieures de l'enroulement.

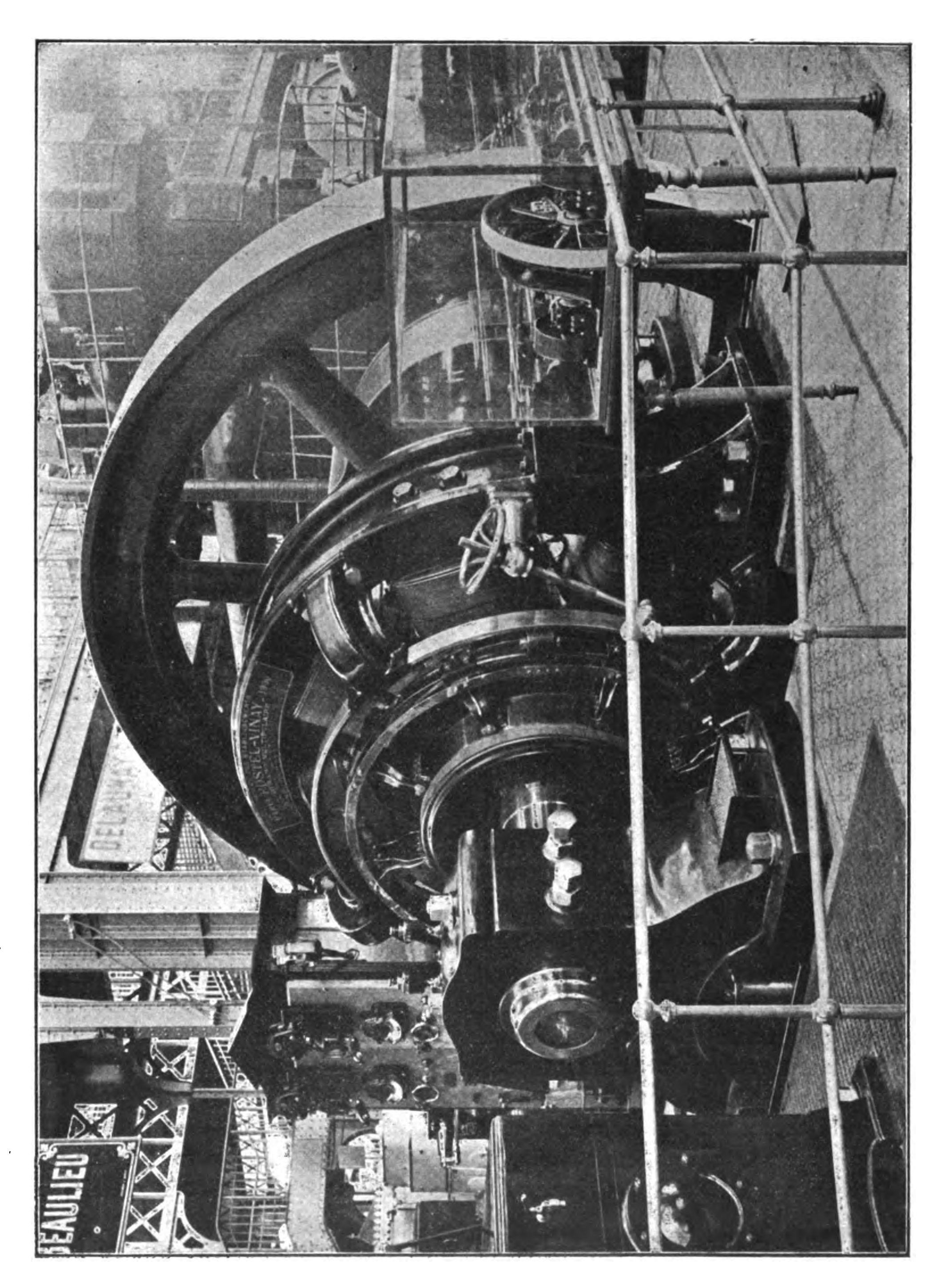


Fig. 1. — Groupe électrogène de 350 kilowatts de la Société des Anciens Etablissements Postel-Vinay et Cie et de MM. Garnier et Faure-Beaulieu.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 1,6 m, et la largeur totale des tôles, y compris celle des canaux de ventilation, de 60 cm. La hauteur radiale des tôles est de 21 cm.

La surface extérieure de l'induit porte 208 rainures de 45 mm de hauteur radiale et de 14 mm de largeur.

L'enroulement induit en tambour multipolaire avec groupement en quantité est formé par 832 barres de 6,7 mm de largeur et 3,7 mm d'épaisseur, repliées à leurs deux extrémités et réunies entre elles deux à deux. La section de chaque barre est de 24,8 mm².

Les barres sont réparties en 416 sections de 4 barres ou 2 spires chacune, aboutissant aux 416 lames du collecteur.

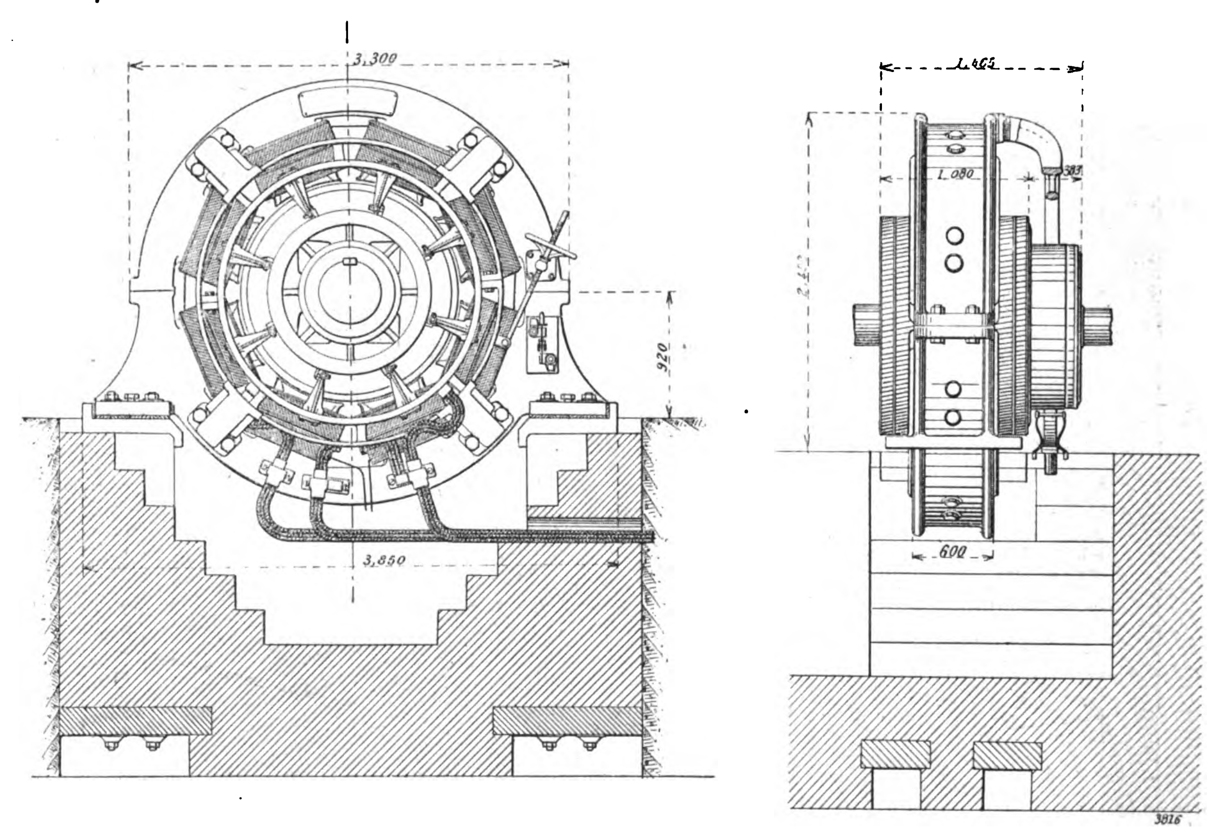


Fig. 2 et 3. — Dynamo à courant continu de 350 kilowatts de MM. Postel-Vinay et C°.

L'enroulement est maintenu par un cerclage démontable sur les parties extérieures et par un dispositif spécial sur l'induit lui-même, dispositif permettant d'enlever le cerclage par partie pour le remplacement d'une section avariée.

Le collecteur est monté sur un croisillon en fonte claveté sur le support de l'induit ; les lames sont serrées entre deux anneaux en acier à l'aide de boulons traversant les bras du croisillon.

Le diamètre du collecteur est de 1,2 m et sa largeur de 23 cm.

Le support du porte-balais est constitué par un anneau en fonte pouvant tourner entre quatre bras, fixés à la carcasse inductrice, à l'aide d'une vis tangente commandée par un volant à main.

Les axes des porte-balais sont supportés par des étriers et portent quatre balais en charbon.

La résistance de l'induit entre balais est de 0,03 ohm à 50° C.

Le poids de l'induit complet est de 10 000 kg, dont 600 kg pour le cuivre de l'enroulement.

Le poids du support des porte-balais, des porte-balais, des balais et des câbles de connexion est d'environ 700 kg.

Résultats d'essais. — L'intensité du courant d'excitation nécessaire pour obtenir à vide la tension normale de 525 volts est de 5,2 ampères.

En charge, pour une tension de 575 volts aux bornes, le courant d'excitation dans le circuit shunt atteint 5,9 ampères.

La chute de tension en charge est de 25 volts, soit de 4,4 p. 100 environ.

GROUPE ÉLECTROGENE DE 75 KILOWATTS DE LA SOCIÉTÉ DES ÉTABLISSEMENTS POSTEL-VINAY ET DE MM. GARNIER ET FAURE-BEAULIEU

Le second groupe de la Société des Établissements Postel-Vinay et de MM. Garnier et Faure a une puissance de 75 kilowatts. Il est représenté sur la photographie de la figure 1.

Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur Garnier et Faure de ce groupe est du même genre que celui du premier ensemble.

Ses dimensions sont les suivantes :

Diamètre du piston	46 cm
Course	50 cm
Vitesse angulaire en tours par minute	160

La pression de la vapeur est de 7 à 8 kg : cm², et la puissance de 150 chevaux effectifs pour la marche à condensation.

Le régulateur est à ressorts et logé dans un petit volant.

Dynamo. — La dynamo de MM. Postel-Vinay peut fournir un débit de 136 ampères sous une tension de 550 volts.

La vitesse angulaire est de 160 tours par minute et le nombre de pôles de six.

Les figures 2 et 3 montrent des vues d'ensemble avec coupes partielles de la dynamo.

Inducteurs. — L'inducteur est formé par une carcasse en acier coulé en deux parties, sur laquelle sont fixés les pôles inducteurs, également en acier, à l'aide de deux vis traversant complètement cette carcasse.

La partie inférieure de la carcasse repose par deux pattes sur le massif.

Les pôles inducteurs ont une section circulaire et sont terminés par des épanouissements polaires de forme sensiblement rectangulaire.

Le diamètre extérieur maximum de la carcasse est de 1,92 m, et le diamètre extérieur de la partie cylindrique de 1,81 m.

Le diamètre intérieur de la couronne est de 1,64 m.

La largeur de l'inducteur est de 38 cm.

Le diamètre des noyaux polaires atteint 32 cm environ, et les dimensions des 5 pièces polaires sont de 37 cm dans le sens de l'arbre et de 38 cm dans le sens perpendiculaire.

Le diamètre d'alésage est de 1,018 m, et l'entrefer de 9 mm.

L'enroulement inducteur shunt est formé de six bobines enroulées sur des carcasses métalliques et comprenant 2 550 spires de fil de 2 mm de diamètre.

Les six bobines inductrices sont disposées en série et la résistance du circuit d'excitation est de 113 ohms à 50° C.

La machine possède également un enroulement série qui n'était pas utilisé à l'Exposition.



Le poids de cuivre inducteur est de 498 kg, et celui des noyaux de 3 180 kg.

Induit. — L'induit est supporté par un tambour ajouré portant extérieurement des pro-

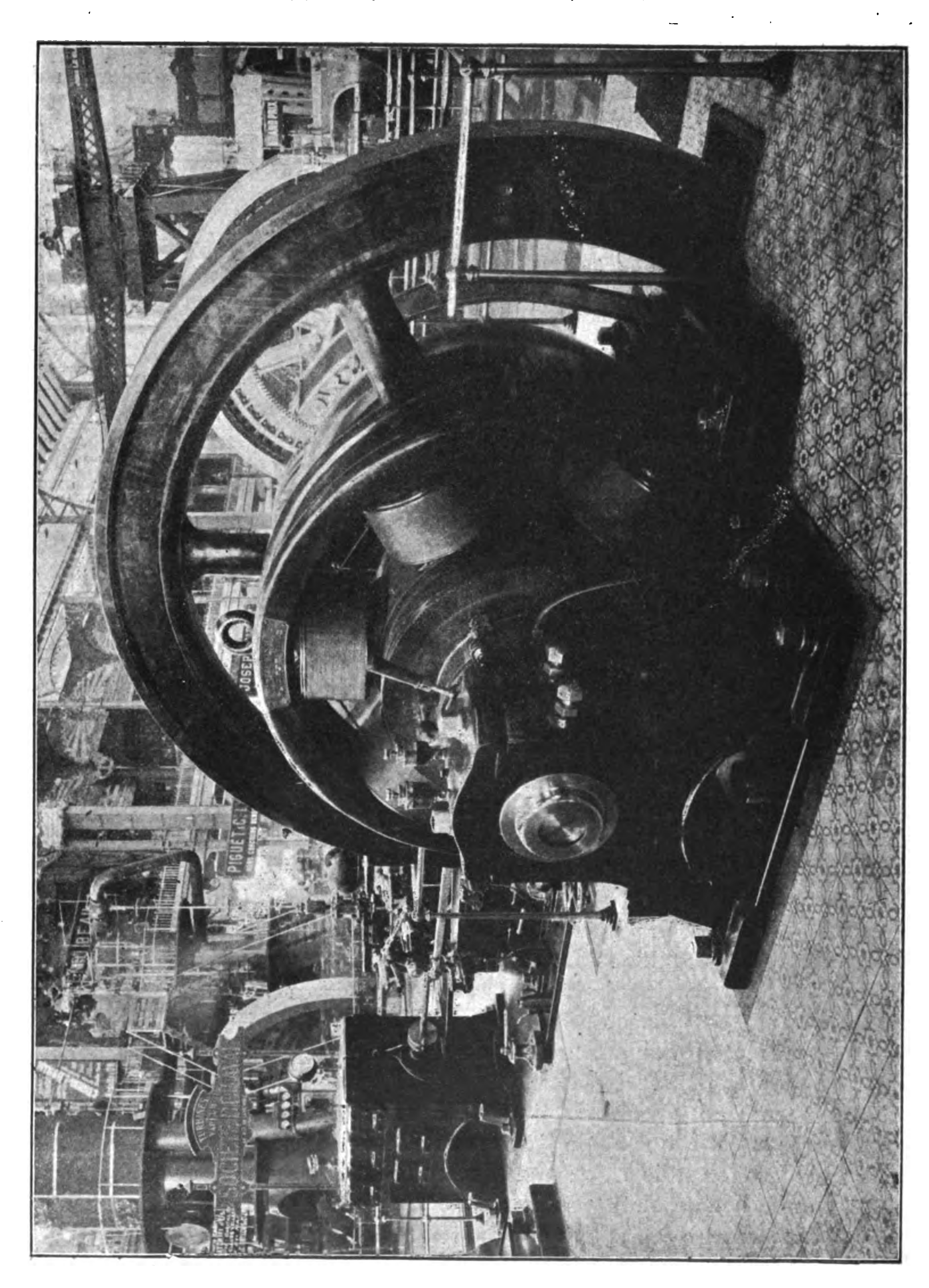


Fig. 4. — Groupe électrogène de 75 kw de MM. Postel-Vinay et Cie et de MM. Garnier et Faure-Beaulieu.

jections radiales sur lesquelles viennent s'empiler les tôles qui sont serrées entre deux disques en fonte. L'induit est monté directement sur l'arbre du moteur à vapeur.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 1 m, et sa largeur de 32 cm. La hauteur radiale des tôles est de 16 cm.

Les tôles induites sont partagées en quatre paquets séparés par des intervalles de 1 cm environ.

La surface extérieure de l'induit est munie de 230 rainures de 38 mm de hauteur radiale et 8,1 mm de largeur. Dans ces rainures est disposé un enroulement tambour multipolaire avec groupement en quantité.

Chaque rainure contient 4 barres dont la section a 5,8 mm de hauteur et 3,7 mm de largeur soit 21,5 mm². Les 920 barres sont réparties en 460 sections de deux conducteurs ou une seule spire aboutissant aux lames du collecteur.

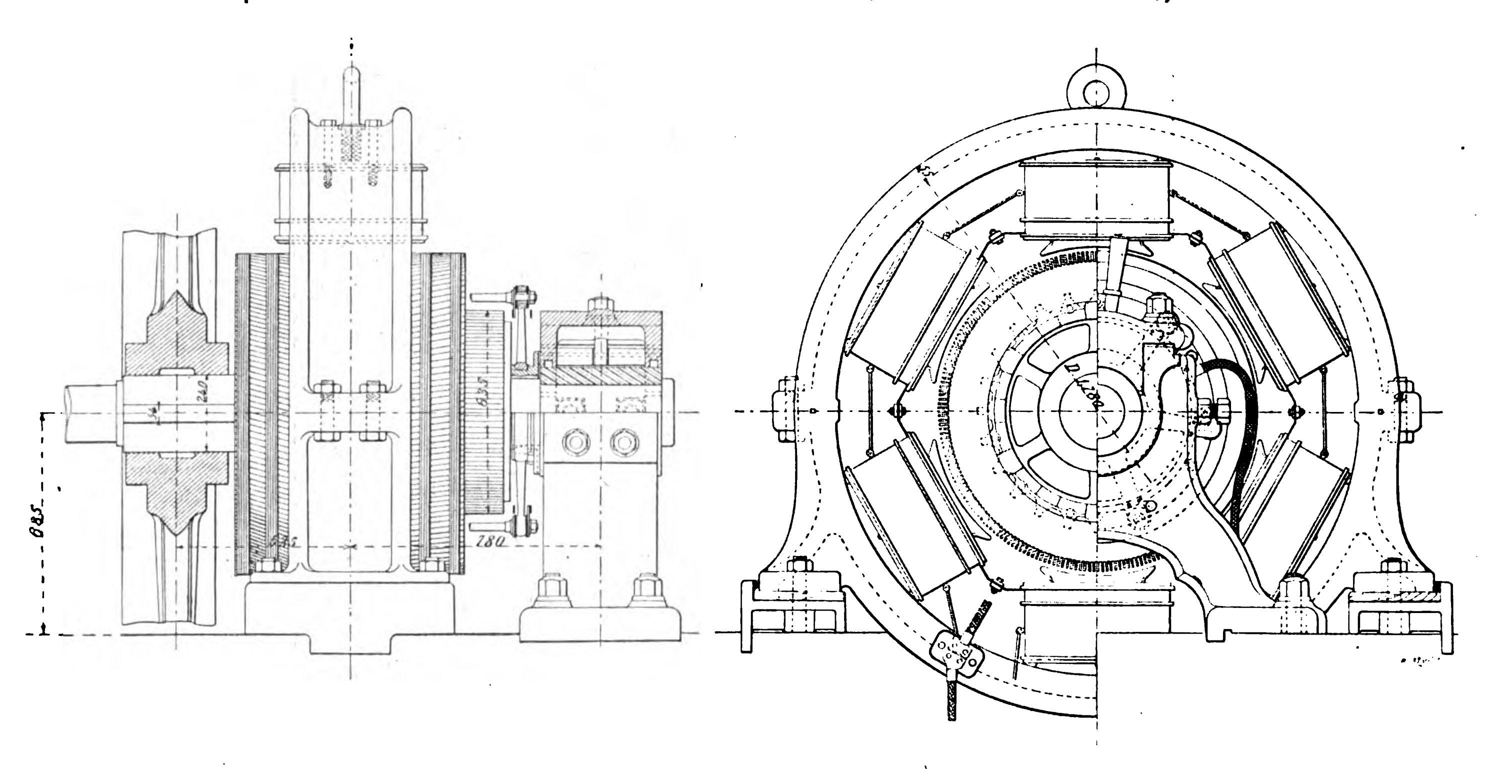


Fig. 5 et 6. — Dynamo à courant continu de 75 kw de MM. Postel-Vinay et Cie.

Le poids du cuivre de l'enroulement induit est de 180 kg.

Le collecteur, monté sur un support en fonte, a un diamètre de 63,5 cm et une largeur de 15 cm.

Le support du porte-balais est monté sur un collier pouvant tourner autour d'un anneau rapporté sur le palier.

Les balais sont répartis en 6 lignes de 2 balais en charbon.

La résistance de l'induit entre balais est de 0,2 ohm à 50° C.

Le poids de l'induit tout monté atteint 4 000 kg.

Résultats d'essais. — L'intensité du courant d'excitation par la marche à vide est de 2,5 ampères. En charge, le courant d'excitation est de 3,5 ampères; la chute de tension correspondante est de 35 volts, soit 6,5 p. 100 environ.

MATÉRIEL A COURANT CONTINU DE LA COMPAGNIE DE FIVES-LILLE

La Compagnie de Fives-Lille, qui construit en France, sous la direction de M. D. Korda, ingénieur, chef du service électrique, le matériel de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft,

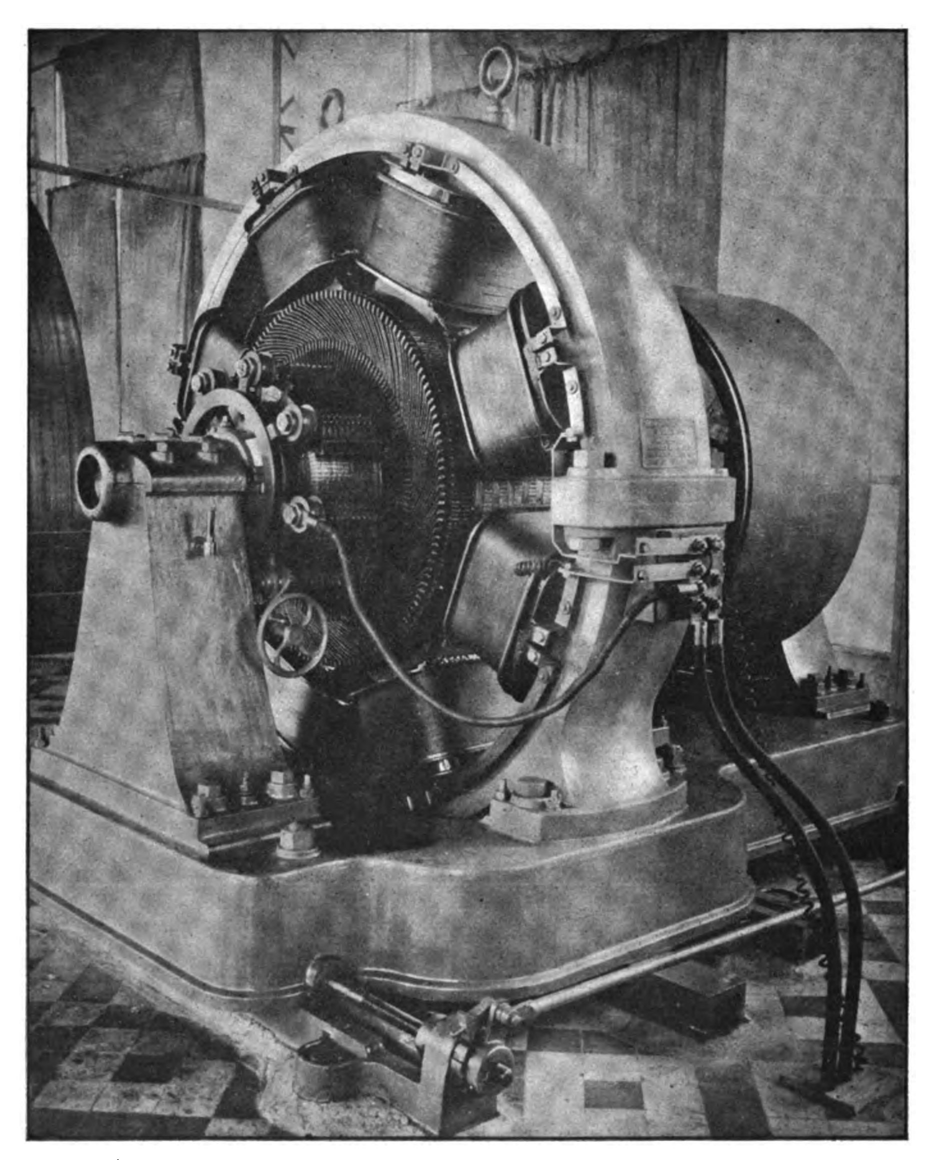


Fig. 1. — Dynamo à courant continu de 220 kilowatts de la Compagnie de Fives-Lille.

présentait à l'Exposition diverses machines à courant continu de ses types normaux pour traction et pour éclairage. Nous décrirons les 3 principaux.

Dynamo pour traction de 220 kilowatts. — La dynamo pour traction exposée par la Compagnie de Fives-Lille, a une puissance de 220 kilowatts sous une tension variant de 500 à 550 volts.

Le débit pour cette dernière tension est de 400 ampères.



La vitesse angulaire est de 235 tours par minute, et le nombre de pôles inducteurs de 8.

Cette dynamo est représentée sur la photographie de la figure 1 et sur les figures 2 et 3, qui sont des vues d'ensemble avec coupes partielles. Les figures 4 et 5 montrent des coupes et vues d'une partie de l'induit et de l'inducteur.

Inducteurs. — La carcasse inductrice est constituée par une couronne en acier coulée en deux parties et portant deux pattes qui servent à la fixer sur le bâti. Les paliers à bague avec coussinets en bronze sont rapportés sur ce dernier.

La couronne inductrice porte les noyaux polaires, à section rectangulaire, venus de fonte avec elle; les épanouissements polaires, en acier coulé également, sont rapportés et fixés à l'aide de vis.

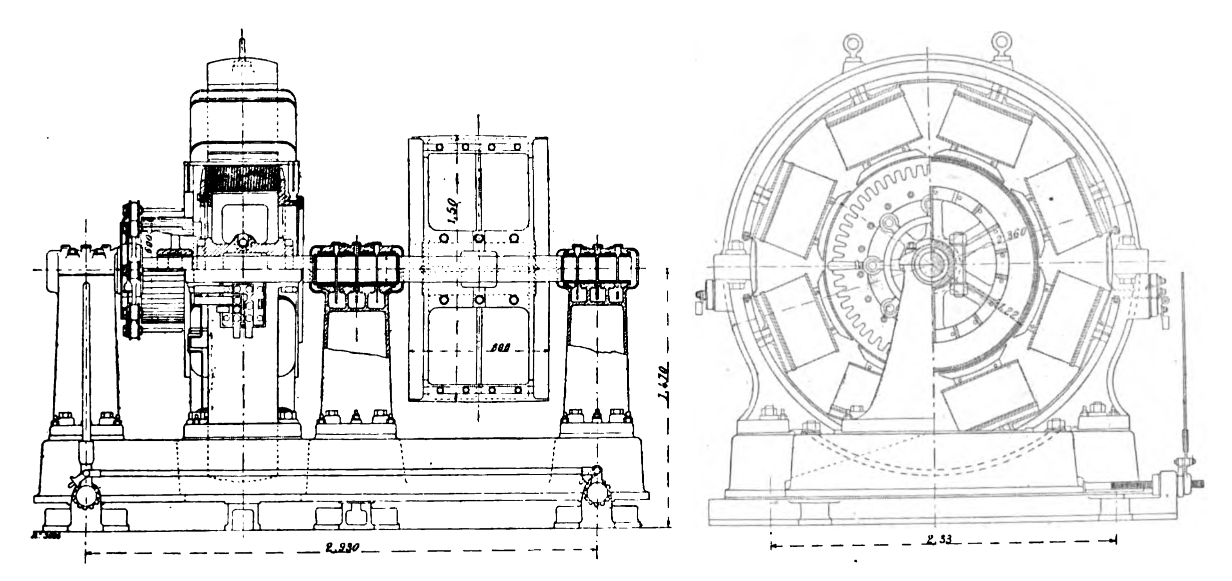


Fig. 2 et 3. — Vues d'ensemble avec coupes partielles de la dynamo de 220 kilowatts de la Compagnie de Fives-Lille.

L'ensemble est disposé sur des rails tendeurs et peut être déplacé, le long de ceux-ci, par deux cliquets commandant deux vis tangentes dont les écrous sont venus de fonte avec le bâti. Les deux cliquets sont manœuvrés à l'aide d'un seul levier à main.

Le diamètre extérieur de la carcasse est de 240 cm et sa largeur de 40 cm.

Les noyaux polaires ont une section de 40 × 28 ou 1 120 cm²; les épanouissements polaires, de même longueur que le pôle, ont une largeur dans le sens perpendiculaire à l'axe de 43 cm.

Le diamètre d'alésage des inducteurs est de 123,4 cm et l'entrefer de 7 mm.

L'enroulement inducteur est compound. L'enroulement en dérivation se compose de 8 bobines de fil de 2,4 mm de diamètre et comportant chacune 2 100 spires. Les 8 bobines sont groupées en série et la résistance du circuit est de 105 ohms à chaud.

Le circuit série est formé par 8 bobines placées à côté des précédentes et constituées par une bande de cuivre de 35 mm de largeur et 6 mm d'épaisseur, ou 210 mm² de section. Chaque bobine comporte 6 spires et les 8 bobines sont montées en série. La résistance de ce circuit est de 0,00765 ohm à chaud.

Le poids de cuivre utilisé pour les deux enroulements inducteurs est de 1 200 kg.

Induit. — Le support de l'induit est constitué par un croisillon en fonte en deux parties

***

assemblées au moyeu par deux boulons et serrées sur l'arbre par deux frettes en fer forgé posées à chaud.

Les tôles induites sont empilées sur les bras du support entre une couronne dentée venue de fonte avec ce dernier, et une couronne rapportée également dentée, fixée au support par des vis.

L'entraînement des tôles est obtenu par 3 clavettes à 120°.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 122 cm et la largeur des tôles, disposées en un seul anneau, de 42 cm. La hauteur radiale du noyau d'induit est de 17 cm.

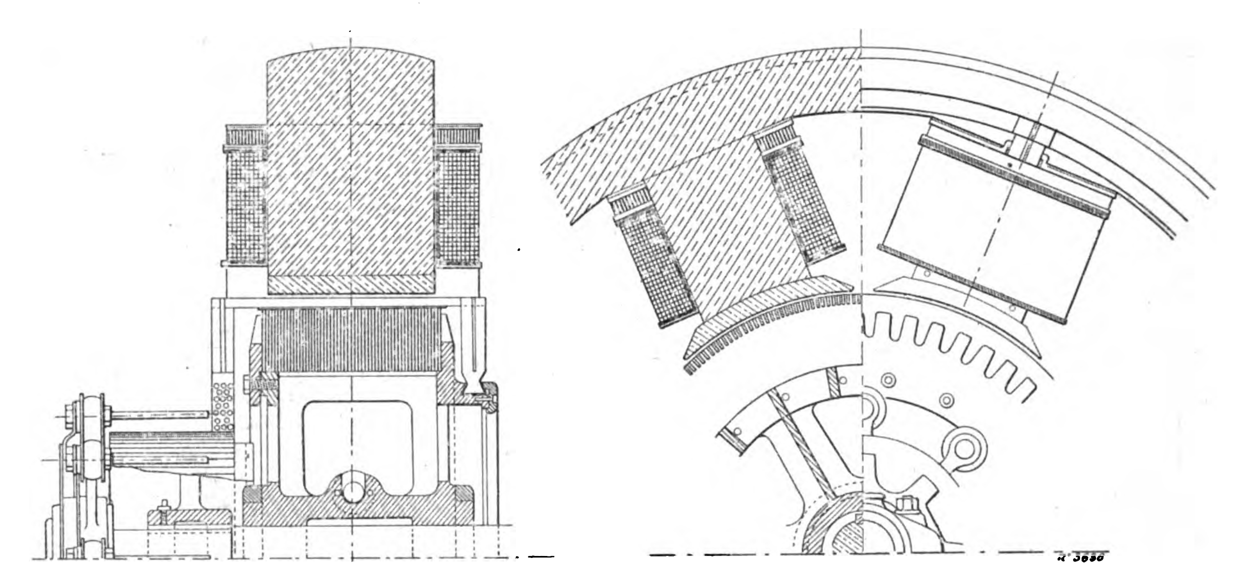


Fig. 4 et 5. — Coupes et vues d'une partie de l'induit et de l'inducteur de la dynamo de 220 kilowatts de la Compagnie de Fives-Lille.

La surface de l'induit porte 294 rainures, de 22 mm de hauteur radiale et de 5,5 mm de largeur, contenant chacune une barre de 17 mm de largeur et 3 mm d'épaisseur.

Ces barres sont réunies entre elles et aux lames du collecteur par des développantes en V dont la partie inférieure est terminée en queue d'aronde et est serrée entre le support de l'induit et un anneau en fer fixé au croisillon par des vis.

Les 294 barres constituent un enroulement en tambour série formé de 147 sections d'une seule spire chacune.

Ces sections aboutissent aux 147 lames d'un collecteur monté sur un croisillon en fonte claveté sur l'arbre, et sur lequel les lames sont serrées par un anneau de fer fixé par des vis.

Le diamètre du collecteur est de 60 cm et sa largeur de 30 cm.

Les axes de porte-balais sont montés sur un support en fonte pouvant tourner à l'aide d'une poignée à main sur un anneau venu de fonte avec l'un des paliers.

Les huit lignes de balais comportent chacune 10 balais en charbon.

La résistance de l'induit entre balais est de 0,0283 ohm à chaud, et le poids du cuivre de l'enroulement induit de 167 kg.

Le poids de la machine toute montée est de 20 000 kilos.

Résultats d'essais. — L'intensité du courant d'excitation pour obtenir la tension normale de 500 volts à vide est de 4,7 ampères.

Le rendement de la dynamo de 220 kilowatts de la Compagnie de Fives-Lille est de 90 p. 100.

Dynamo de 100 kilowatts pour traction. — La dynamo de 100 kilowatts de la Compagnie de Fives-Lille est d'un type analogue au précédent.

La puissance de 100 kilowatts est utilisable sous une tension de 500 volts; le débit est par suite de 200 ampères.

La vitesse angulaire est de 340 tours par minute et le nombre de pôles inducteurs de 8.

Cette dynamo est représentée sur la photographie de la figure 6 et sur les figures 7, 8 et 9, qui sont des vues d'ensemble en élévation de face et en plan.

Inducteurs. — La carcasse inductrice, en acier coulé, est en deux parties et repose sur un bâti à 3 paliers; son diamètre extérieur est de 160 cm et sa largeur de 20 cm.

Les noyaux polaires, venus de fonte avec la carcasse, ont une section rectangulaire de 20 cm de longueur et 16 cm de largeur.

Les épanouissements polaires, rapportés, ont une longueur de 20 cm et une largeur de 27,5 cm.

Le diamètre d'alésage est de 83 cm et l'entrefer de 16 mm.

L'enroulement inducteur compound comporte 8 bobines à fil fin de 2240 spires chacune. Le diamètre du fil est de 1,7 mm.

Les 8 bobines sont montées en série et la résistance du circuit formé est de 135 ohms à chaud.

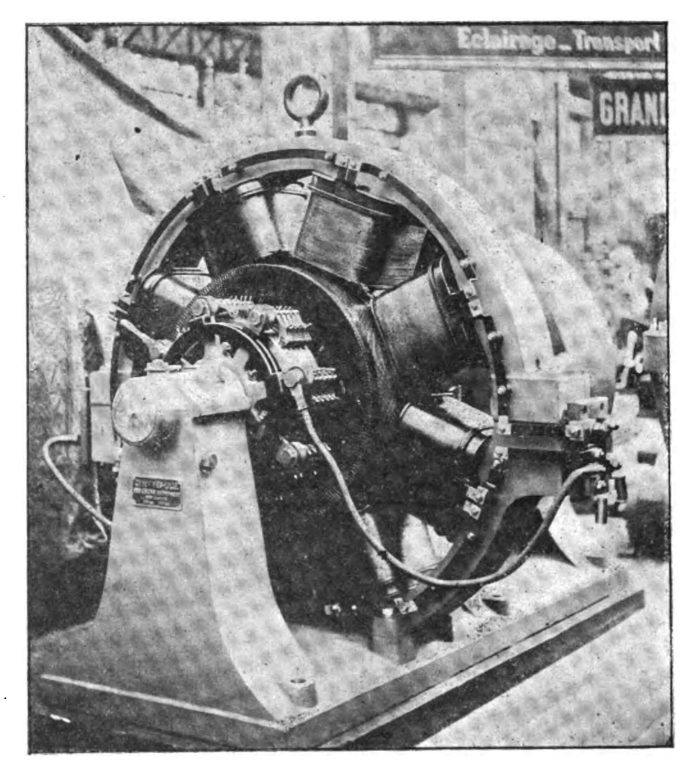


Fig. 6. — Dynamo à courant continu de 100 kilowatts de la Compagnie de Fives-Lille.

Les 8 bobines de l'enroulement série sont également disposées en série; chacune comprend 3 spires formées d'une bande de cuivre de 70 mm² de section.

La résistance de l'enroulement série est de 0,0012 ohm à chaud.

Le poids du cuivre inducteur est de 425 kg pour les deux enroulements réunis.

Induit. — L'induit a une constitution analogue à celui de la machine de 220 kilowatts que nous venons de décrire.

Son diamètre extérieur est de 81 cm et la hauteur radiale des tôles de 16,5 cm. La largeur du noyau est de 20,5 cm.

L'enroulement en tambour multipolaire série est réparti dans 239 rainures de 20 mm de hauteur radiale et de 4,5 mm de largeur. Chaque rainure comporte deux barres de 5,5 mm de largeur et 4 mm de hauteur, et l'ensemble est connecté par des développantes en V de façon à constituer 239 sections d'une seule spire de deux conducteurs chacune et aboutissant aux 239 lames du collecteur.

Le diamètre du collecteur est de 47,5 cm et sa largeur de 13,5 m; le support des porte-balais, d'un modèle identique à celui de la précédente machine, porte 8 axes munis chacun de 5 balais en charbon.

La résistance de l'induit entre balais est de 0,005 ohm à chaud, et le poids de cuivre de l'enroulement de 60 kg.

Le poids de la dynamo toute montée est de 5,200 kg.

Fig. 7, 8 et 9. — Vues d'ensemble de la dynamo de 100 kilowatts de la Compagnie de Fives-Lille.

Résultats d'essais. — L'intensité du courant d'excitation correspondant à la marche à vide est de 2,4 ampères.

Dynamo de 36 kilowatts. — Cette dynamo appartient à une autre série que la précédente; sa puissance est de 36 kilowatts sous 120 volts, soit un débit de 300 ampères.

Sa vitesse angulaire est de 750 tours par minute, et le nombre de pôles de 4.

Les figures, 10, 11 et 12 représentent des vues d'ensemble avec coupe partielle par l'axe.

Inducteurs. — La carcasse inductrice, en acier coulé, est en deux parties et repose sur le bâti sur lequel sont rapportés les deux paliers à bagues.

Le diamètre extérieur de la carcasse est de 101,3 cm, et sa largeur de 18 cm.

Les noyaux polaires venus de fonte avec la carcasse, ont une section rectangulaire de 18 cm de longueur et de 15 cm de largeur.

Les épanouissements polaires rapportés sont en fer ; leurs dimensions sont de 18 cm de longueur et de 30 cm de largeur dans le sens perpendiculaire à l'axe.

Le diamètre d'alésage est de 44,8 cm et l'entrefer de 5,5 mm.

Fig. 10, 11 et 12. — Vues d'ensemble de la dynamo de 36 kilowatts de la Compagnie de Fives-Lille.

L'enroulement inducteur comprend 4 bobines en fil de 2,2 mm de diamètre ou 3,8 mm de section. Les 4 bobines sont groupées en série et chacune d'elles comporte 1 085 spires.

La résistance du circuit inducteur est de 21 ohms à froid.

Le poids du cuivre inducteur est de 153 kg.

Induit. — L'induit, d'une constitution analogue à celui des 2 machines précédentes, a un diamètre extérieur de 43,7 cm et une largeur de 18,5 cm. Le diamètre intérieur des tôles est de 25,7 cm et la hauteur radiale de l'anneau de 9 cm.

L'enroulement est en tambour multipolaire avec groupement en parallèle. L'induit est lisse et porte à sa surface des barres à section carrée de 4 mm de côté. Ces barres, au

nombre de 280, forment 140 sections d'une seule spire réunies aux 140 lames du collecteur; elles sont cintrées à leurs extrémités et viennent se souder, du côté opposé au collecteur, sur une ailette en cuivre terminée en queue d'aronde. Les ailettes sont serrées, par un anneau en fer, sur un support retenu sur l'arbre par une vis et une frette en fer forgé.

Le collecteur, monté sur un tambour claveté sur l'arbre, a un diamètre de 40 cm et une largeur utile de 13 cm.

Les 4 axes des porte-balais sont fixés sur une étoile à 4 branches pouvant tourner à l'aide d'une poignée autour d'un anneau venu de fonte avec l'un des paliers.

Chaque ligne de balais comporte 7 balais en charbon.

La résistance de l'induit entre balais, est de 0,0105 ohm, et le poids de cuivre utilisé pour l'enroulement induit de 29,5 kg.

Le poids de la dynamo toute montée est de 1 700 kg.

Résultats d'essais. — L'intensité du courant d'excitation à vide et à la tension normale est de 4,5 ampères. En charge, il est de 5 ampères environ.

ALTERNATEUR DE 400 KILOVOLTS-AMPÈRES DE MM. J.-J. RIETER ET Cie

En dehors des alternateurs à inducteur extérieur mobile dont nous avons décrit l'un

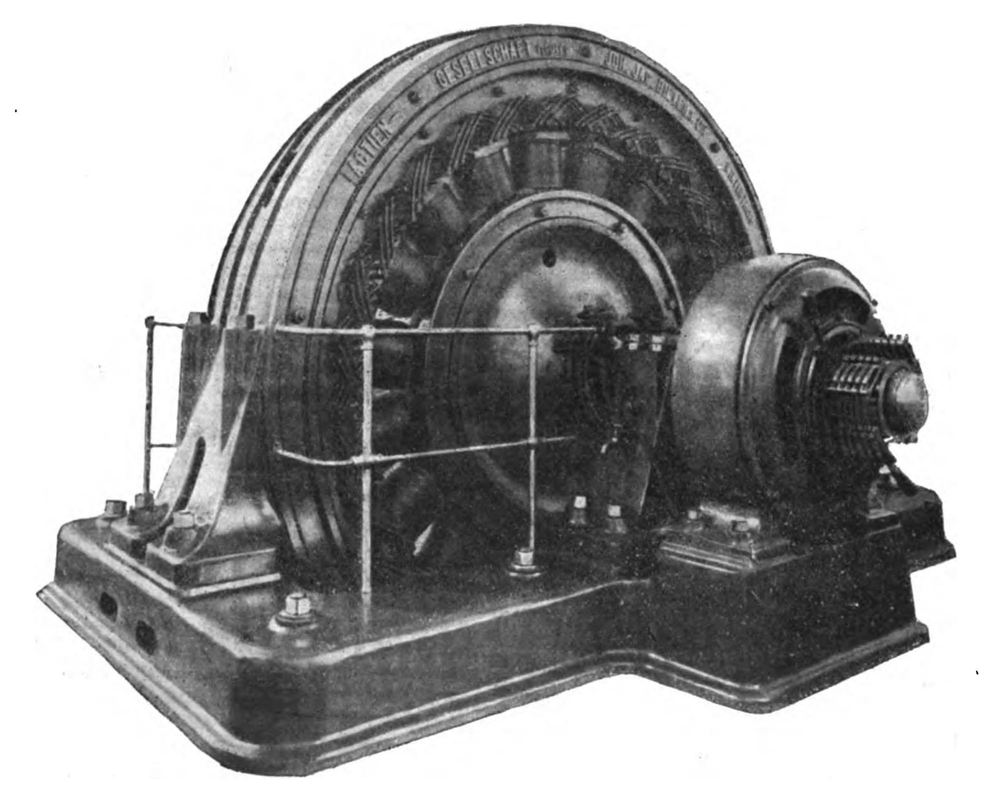


Fig. 1. — Alternateur à courants triphasés de 400 kilovolts-ampères de l'Actien-Gesellschaft vorm. J.-J. Rieter et C°, de Winterthur.

des types, MM. J.-J. Rieter et Cie, de Winterthur, construisent également des alternateurs à induit extérieur.



L'alternateur que nous étudierons ici a une puissance de 400 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance minimum de 0,8; la puissance vraie fournie est de 320 kilowats.

La tension aux bornes ou par phase, l'induit étant groupé en triangle, est de 220 volts, et l'intensité du courant de débit de 606 ampères.

La vitesse angulaire est de 300 tours par minute et la fréquence de 45 périodes par seconde.

L'alternateur J.-J. Rieter et Cie à induit extérieur est représenté sur la photographie de la figure 1. Les figures 2 et 3 sont des vues d'ensemble avec coupes partielles, et les figures 4 et 5 des coupes et vues d'une partie de l'induit et de l'inducteur.

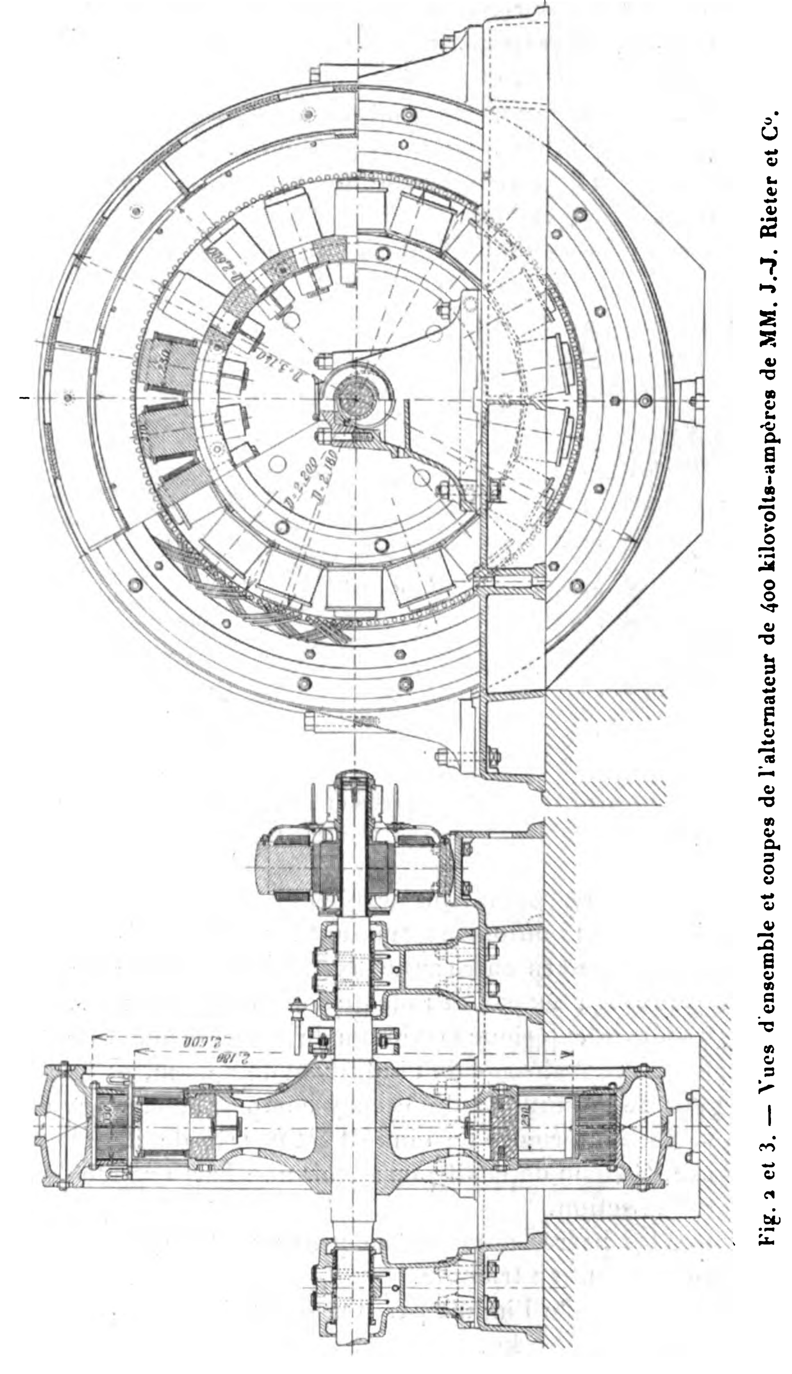


Fig. 2 et 3. — Vues d'ensemble et coupes de l'alternateur de 400 kilovolts-ampères de MM. J.-J. Rieter et Co.

Inducteurs — Les inducteurs sont constitués par une couronne, en acier coulé, portant les 18 pôles et maintenue par des boulons entre deux plateaux en fonte clavetés sur l'arbre.

Le diamètre extérieur de cette couronne est de 1,64 m et sa hauteur radiale de 14 cm; sa largeur est d'environ 32 cm.

Les pôles inducteurs, en fer forgé, sont légèrement encastrés dans la couronne et ont une forme cylindrique; ils sont terminés par des épanouissements polaires rectangulaires.

Le diamètre des noyaux polaires est de 23 cm; les épanouissements polaires ont une longueur de 30 cm et une largeur de 21 cm.

Le diamètre de l'inducteur à l'extrémité des pièces polaires est de 2,18 m et l'entrefer de 10 mm.

L'enroulement inducteur comporte 18 bobines enroulées avec une bande de cuivre sur

champ de 24 mm de largeur et 2 mm d'épaisseur, soit 48 mm² de section. Le nombre de spires de chaque bobine est de 80.

Toutes les bobines inductrices sont réunies en série et aboutissent à deux bagues de frottement; le circuit d'excitation a une résistance à froid de 0,43 ohm.

Le poids du cuivre utilisé sur l'inducteur est de 520 kg.

Induit. — Le support de l'induit se compose de deux couronnes de fonte, chacune en deux parties assemblées dans un plan horizontal.

Les parties inférieures portent des pattes boulonnées sur le bâti sur lequel sont rapportés les deux paliers à bagues.

Les deux caisses supportant l'induit ont une section en forme d'U couché et s'emboîtent

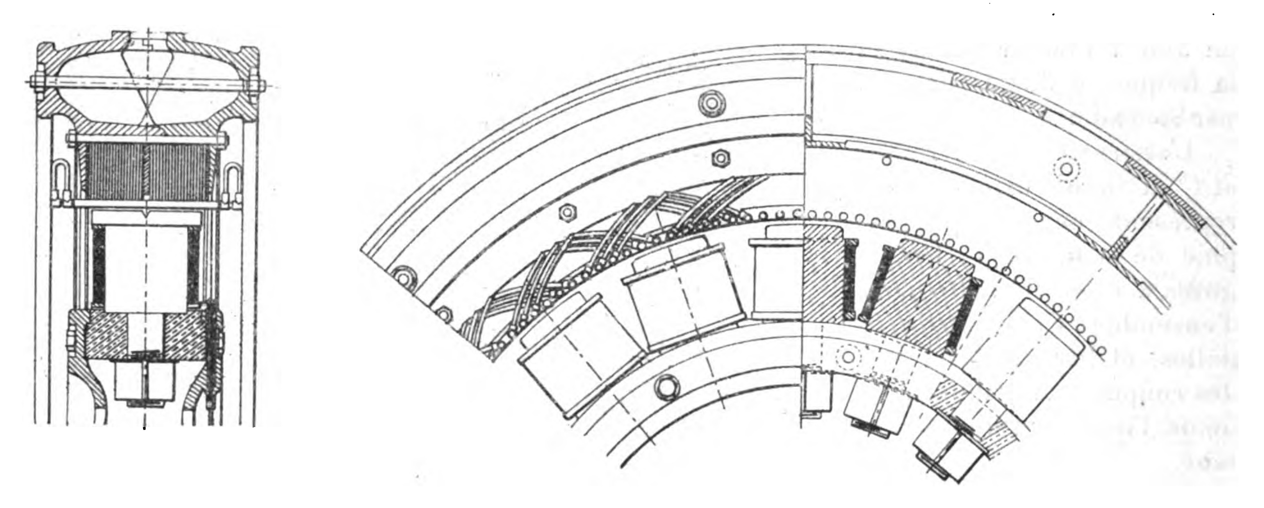


Fig. 4 et 5. — Coupes et vues d'une partie de l'induit et de l'inducteur de l'alternateur de 400 kilovolts-ampères de J.-J. Rieter et C°.

l'une dans l'autre. Elles sont serrées entre elles par des boulons les traversant complètement et par les boulons assemblant les tôles.

Celles-ci, serrées entre anneaux venus de fonte avec les couronnes, sont partagées en deux noyaux séparés par des plaques évents en bronze.

Le diamètre extérieur maximum de la carcasse est de 3,14 m et sa largeur de 60 cm.

Le diamètre d'alésage de l'induit est de 2,20 m, et la hauteur radiale des tôles de 20 cm. La largeur de l'induit est de 32 cm y compris l'épaisseur des cales qui est de 10 mm.

La surface intérieure de l'induit est percée de 162 trous circulaires, soit 3 par pôle et par phase. Chacun de ces trous reçoit une barre ronde de 16 mm de diamètre ou 200 mm² environ de section.

Toutes les barres d'une même phase sont réunies en série par des connecteurs en V. Les 3 phases sont en triangle.

La résistance de l'induit par phase est de 0,005 ohm à froid et le poids du cuivre de l'enroulement de 220 kg.

Excitatrice. — L'alternateur à induit extérieur de MM. J.-J. Rieter est excité par une petite dynamo dont l'induit est calé en porte-à-faux sur l'arbre. La puissance de cette machine est de 8 000 watts environ.

L'inducteur à 4 pôles est en acier et supporté par un prolongement du bâti. Son diamètre extérieur est de 98 cm et sa largeur de 26 cm.



L'enroulement inducteur est en dérivation ; les 4 bobines inductrices montées en série comportent chacune 930 spires de fil de 2,6 mm de diamètre.

L'induit, enroulé en tambour multipolaire en série, a un diamètre extérieur de 40 cm et une largeur de 24 cm. L'enroulement est réparti dans 57 rainures et comporte 4 conducteurs de 5,8 mm de diamètre ou 26,4 mm² de section.

Le support des porte-balais est formé par une couronne fixée à la carcasse inductrice ; il y a 4 rangées de 5 balais en charbon.

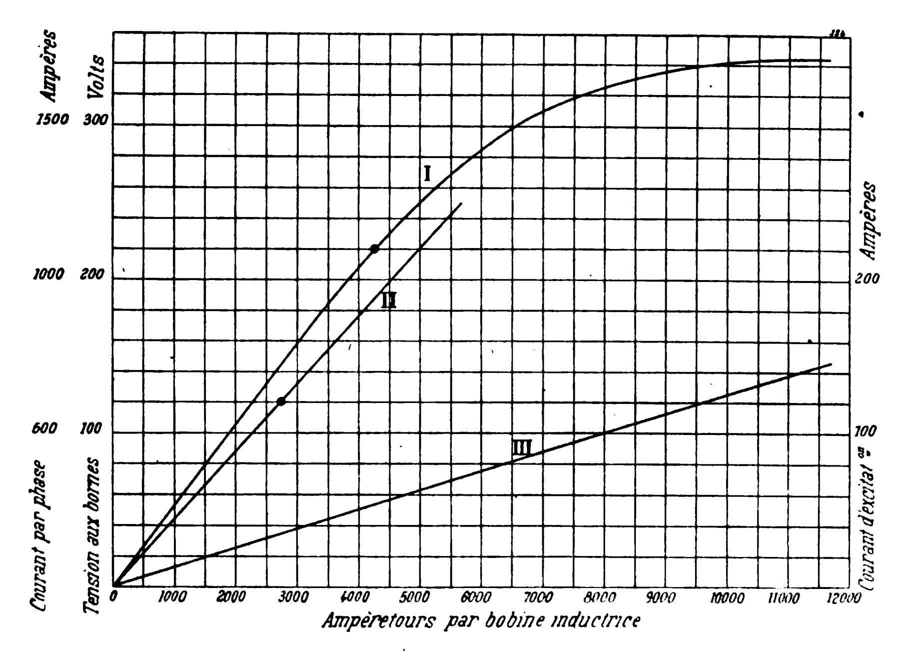


Fig. 6. — Caractéristiques de l'alternateur J.-J. Ricter et C°.

I. Caractéristique à vide.
II. Caractéristique en court-circuit.
III. Droite de correspondance du courant d'excitation aux ampèretours inducteurs par minute.

Résultats d'essais. — Les caractéristiques à vide et en court-circuit de l'alternateur sont représentées respectivement par les courbes I et II de la figure 6. La courbe III est la droite de correspondance des ampèretours inducteurs du courant d'excitation. On voit que les circuits magnétiques de l'alternateur sont peu saturés.

L'intensité du courant d'excitation correspondant à la marche à vide, avec une tension de 220 volts aux bornes, est de 54 ampères.

L'intensité du courant de débit de 606 ampères par phase est obtenu en court-circuit avec un courant d'excitation de 34 ampères.

J. Reyval.

****



SUR LA THÉORIE GRAPHIQUE DES MOTEURS SYNCHRONES

En réponse à la note de M. Verhoeckx publiée dans un précédent numéro (14 septembre, p. 399), M. Blondel nous écrit :

Je suis très heureux qu'une simple erreur DE TITRE d'un de mes paragraphes ait permis à M. Verhoeckx de donner une solution graphique élégante, qui complète d'un façon intéressante les précédentes. Mais, si M. Verhoeckx veut bien se reporter à mon petit traité des Moteurs synchrones (Encyclopédie Léauté) dont ce passage est extrait, page 158, il y trouvera le titre vrai : « détermination du courant déwatté à courant watté constant », et c'est une simple distraction qui qui m'a fait ajouter, au cours de la correction des copies, les mots « à puissance constante », qui ne figurent à aucun moment dans la démonstration. Il suffit de supprimer ces mots qui sont de trop pour donner satisfaction à M. Verhoeckx, et laisser ma figure aussi bien que la démonstration qui l'accompagne rigoureusement exactes.

Je me permettrai en terminant de signaler à M. Verhoeckx que son épure, bien que très intéressante, ne représente pas plus que la mienne *les courbes à puissance constante*, car il admet comme paramètres fixes $\mathcal{E}_2$ et P pour la construction de chacune de ses hyperboles, tandis qu'en réalité $\mathcal{E}_2$ *varie lui-même en même temps que la composante déwattée du courant*. Ses hyperboles ne sont donc que des courbes *auxiliaires*, ne correspondant à aucun cas de la pratique, et servant seulement à déterminer par points la courbe en V.

Mais à ce point de vue, ma construction, qui ne comprend que des droites, conduit aussi bien au résultat ; il suffit de choisir pour tâtonnement pour chaque valeur de I_w les valeurs de I_d et $\mathcal{E}_2$ satisfaisant à la relation (dont le second membre est connu)

$$\mathcal{E}_2 - \omega L' I_d = \frac{P}{I_w}$$

et d'exécuter cette construction pour une série de valeurs croissantes de I_w. On en déduit le courant d'armature I par la formule

$$I = \sqrt{I_w^2 + I_d^2}$$

et le courant d'excitation par la construction que j'ai indiquée sur la courbe d'excitation. Il n'y a ainsi besoin d'aucune hyperbole auxiliaire.

A. BLONDEL

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du mercredi 5 juin (1).

Recherches sur l'arc électrique à courant continu, par **F. Laporte** et **C. Léonard**.

M. Janet, qui présente en séance cette communication, commence par indiquer l'origine de ces recherches, faites au Laboratoire central d'Électricité (2).

(1) Contrairement à l'habitude, *L'Éclairage Électrique*, n'a pas donné de compte rendu de cette séance, les communications importantes qui y ont été faites et les discussions qui les ont suivies se prêtant mal à une analyse sommaire. Les développements que nous publions aujourd'hui sur ces communications et discussions sont empruntées au *Bulletin de la Société Internationale des Électriciens*, 2e série, t. I, p. 251 à 311.

(2) Avant d'exposer devant vous, dit-il, les recherches sur l'arc électrique à courant continu qui font l'objet de



Au début de la communication, MM. Laporte et Léonard rappellent les études très complètes que M. Blondel a publiées sur ce sujet en 1897 dans ce journal ([1]). Ils font immédiatement observer que les rendements lumineux qu'ils ont trouvés sont notablement inférieurs aux nombres trouvés par M. Blondel et attribuent cette différence aux trois causes suivantes qui agissent dans le même sens :

1° En comparant les constantes trouvées pour le lumenmètre par M. Blondel en employant un

cette Communication, je désire vous rappeler en quelques mots l'origine de ces recherches : il y a plus d'un an, l'Association amicale des Ingénieurs électriciens et le Syndicat professionnel des Industries électriques, présidés tous deux par M. Eugène Sartiaux, mettaient à la disposition du Laboratoire une subvention destinée à faciliter des études relatives à l'éclairage électrique. Ces premières subventions furent appliquées aux études préliminaires, toujours fort longues, qu'entraine un travail de ce genre; la réunion des jurys de l'Exposition de 1900 permit de le continuer et de lui donner tout le développement nécessaire ; le jury de la classe 25, présidé par M. H. Fontaine, et dont j'ai eu l'honneur d'être rapporteur, exprima le désir que l'Exposition de 1900 devint l'origine d'un travail d'ensemble sur les procédés actuels d'éclairage électrique : grâce à l'initiative infatigable de M. H. Fontaine qui prit le plus grand intérêt à cette étude, la plupart des exposants de la classe 25 voulurent bien abandonner au Laboratoire les reliquats disponibles, et c'est grâce à cette nouvelle subvention que les recherches purent être continuées.

Le Laboratoire central d'Électricité, d'ailleurs, était très bien préparé pour ces recherches : M. F. Laporte, chef de travaux au Laboratoire, qui depuis plusieurs années s'occupe particulièrement de photométrie et qui possède une grande compétence dans ces questions, voulut bien se charger de les entreprendre, et leur consacra la plus grande partie de son temps; nous pûmes lui adjoindre M. C. Léonard, ingénieur diplômé de l'Ecole supérieure d'Électricité, expérimentateur habile et consciencieux, qui, sous la direction de M. Laporte, acquit bientôt une grande habitude des mesures photométriques : c'est à la collaboration de MM. F. Laporte et C. Léonard qu'est dû le travail que l'on va lire.

Au point de vue matériel, le Laboratoire possédait également toutes les ressources nécessaires; nous citerons, en particulier, le grand appareil à deux miroirs qui a été décrit ici même il y a quelques années ([1]) et le lumenmètre de M. Blondel ([2]). Ce dernier appareil, qui nous a été d'un si grand secours, nous a été confié, depuis plusieurs années, par M. Blondel lui-même : nous lui adressons ici nos bien vifs remercîments.

([3]) *Écl. Élect.* t. X, p. 289 et suiv.

([1]) *Bull. de la Soc.*, p. 288; 1899. *Écl. Élect.*, t. XX, p. 302.
([2]) *Bull. de la Soc.*, p. 211; 1895. *Écl. Élect.*, t. III, p. 413.

bec Auer d'intensité lumineuse relativement faible et par eux en employant un arc suivant la méthode indiquée plus loin, on trouve qu'il faut des flux de

37,6 (M. Blondel) ou de 35,5 lumen

pour que la tache de l'écran ait une intensité lumineuse de 1 bougie décimale. Ces étalonnements concordent assez bien, mais donnent néanmoins une différence de 6 p. 100.

2° Dans le tarage de son photomètre, M. Blondel a pris la valeur de l'étalon Hefner

1 hefner = 1,04 bougie décimale

valeur anciennement admise. Or la valeur de l'hefner déduite d'expériences postérieures exécutées au Laboratoire central d'Électricité ([1]) donne

1 hefner = 0,88 bougie décimale

Il en résulte une différence de 15 à 16 p. 100 entre les nombres trouvés.

3° Depuis 1897, la tendance générale dans la fabrication des charbons a été de chercher à abaisser la tension de fonctionnement des charbons, et comme cette modification entraîne presque nécessairement une diminution dans le flux émis, il est très probable également que les charbons essayés de 1900 donnent un flux inférieur à ceux de 1897.

Si l'on tient compte de ces trois causes agissant dans le même sens, si l'on n'oublie pas, en outre, les nombreuses causes d'erreurs accidentelles, on voit que la différence de 30 à 40 p. 100 entre les résultats obtenus peut facilement s'expliquer.

I. Installation et manière d'opérer. — Les auteurs se sont servis du lumenmètre de M. Blondel ([2]).

([1]) *Bull. de la Soc.*, p. 166; 1898. *Écl. Élect.*, t. XV, p. 295.

([2]) On sait que cet appareil se compose essentiellement d'une sphère creuse, opaque, non diffusante, au centre de laquelle se trouve placé l'arc. Cette sphère porte deux ouvertures opposées en forme de fuseaux et limitées par deux plans verticaux passant par la verticale de l'arc et faisant entre eux un angle de 18°. En supposant que la répartition lumineuse est la même dans tous les plans verticaux passant par l'arc, on voit facilement que les rayons lumineux qui peuvent s'échapper par les deux ouvertures en fuseau représentent le $\frac{1}{10}$ des radia-

Les rayons lumineux traversant les fuseaux de cet appareil viennent former une tache lumineuse sur un écran diffusant qui reçoit ainsi un flux lumineux proportionnel au $\frac{1}{10}$ du flux produit par l'arc, le coefficient de proportionnalité étant le rendement du miroir. Cet écran se comporte comme une source lumineuse et donne un certain éclairement sur l'écran d'un photomètre placé devant lui. L'éclairement ainsi produit indépendamment de la distance de l'écran au photomètre qui reste constante augmente ou diminue proportionnellement au flux reçu par l'écran. Donc l'éclairement produit sur le photomètre est proportionnel au $\frac{1}{10}$ du flux produit par l'arc. Cet éclairement est très facile à mesurer.

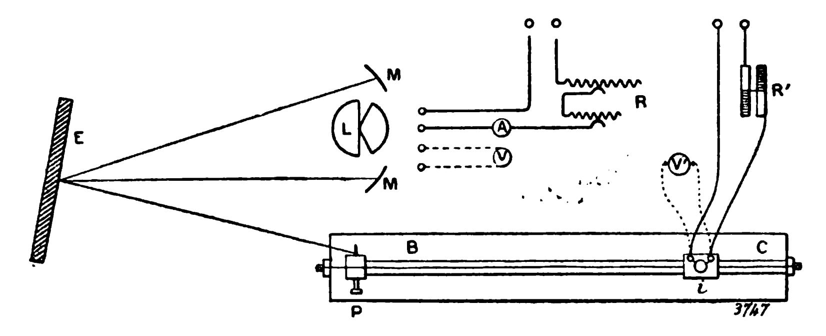


Fig. 1. — Schéma de l'installation.

L'installation était la suivante (fig. 1) :

En L le lumenmètre avec son miroir M. Les rayons lumineux sont concentrés sur l'écran E qui éclaire par diffusion le photomètre fixe P. Une lampe à incandescence *i* montée sur un chariot peut se déplacer sur le banc photométrique BC afin de mesurer l'éclairement produit sur P. En A, V, R, l'ampèremètre, le voltmètre et le rhéostat pour le réglage de l'arc ; en V′ et R′ le voltmètre de précision et la résistance continue pour amener la lampe à incandescence à son régime.

Une lampe à arc à réglage à la main (fig. 2) était montée dans le lumenmètre de manière que le foyer lumineux fût situé au centre de l'appareil. Les deux porte-charbons de la lampe sont solidaires l'un de l'autre, étant fixés aux extrémités d'une chaîne passant sur une roue dentée. Une rotation de cette roue donne aux charbons des déplacements égaux et de sens contraires. Ce mouvement est obtenu au moyen d'une roue à dents hélicoïdales R, commandée par une vis sans fin V [1].

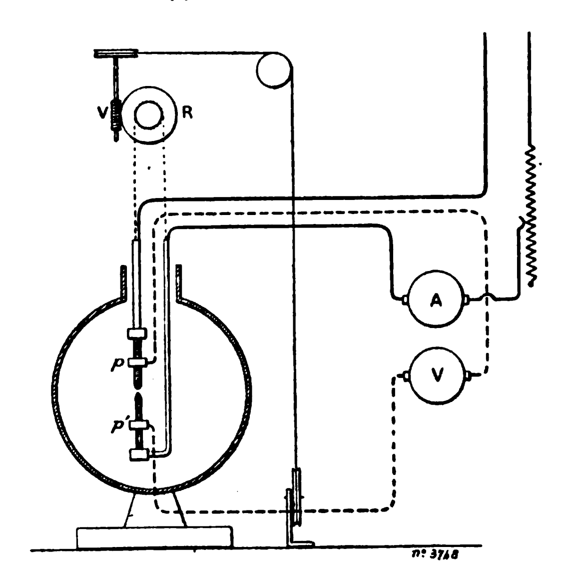


Fig. 2. — Schéma de la lampe.

L'écran diffuseur recevant la tache lumineuse du lumenmètre était formé de papier buvard blanc.

tions lumineuses émises par l'arc. Le flux lumineux compris dans un fuseau de 18° étant le $\frac{1}{20}$ du flux total (360°), les deux fuseaux sont donc bien traversés par le $\frac{1}{10}$ du flux. Les rayons qui ont pu passer par ces ouvertures viennent tomber sur un miroir à section elliptique et sont réfléchis et concentrés sur un écran placé à 3 m environ en avant de l'appareil.

[1] L'opérateur chargé du réglage de l'arc a la main sur un volant commandant par une transmission de mou-

Le photomètre employé est celui de Lummer et Brodhum, les mesures photométriques étaient faites à travers un écran vert de Crova placé entre l'œil de l'opérateur et le photomètre.

La lampe à incandescence servant à mesurer les éclairements était montée sur un chariot commandé par une chaîne sans fin. Cette lampe avait été étudiée préalablement et a été vérifiée à plusieurs reprises pendant les expériences. Elle était alimentée par une batterie d'accumulateurs spéciale et sa tension était réglée par un voltmètre de précision et un rhéostat continu.

Marche d'une expérience. — Les charbons ayant été centrés, l'arc était allumé en amenant à la main les charbons au contact, puis en les écartant progressivement. Le régime à étudier était établi en agissant à la fois sur l'écartement des charbons et sur la résistance placée en série. Après avoir laissé l'arc brûler quelques minutes pour donner aux charbons le temps de s'échauffer, de se tailler par l'usure et de prendre leur forme de régime, on commençait les lectures photométriques.

Les lectures se faisaient en amenant la lampe à incandescence mobile à une distance telle que l'éclairement produit sur le photomètre fût égal à celui produit par la tache lumineuse de l'écran.

Il était fait dix lectures photométriques; on notait en même temps l'intensité du courant, la différence de potentiel prise sur les deux charbons et l'écart apparent des charbons [1].

La moyenne des lectures photométriques et la connaissance de l'intensité lumineuse de la lampe servant de témoin permettent de calculer, pour chaque expérience, l'éclairement de l'écran du photomètre.

Par suite de la mesure, il se trouve égal à l'éclairement produit sur le photomètre par la tache lumineuse provenant du lumenmètre. Comme il a été indiqué plus haut, cet éclairement est proportionnel au flux lumineux produit par l'arc.

Le rapport des éclairements du photomètre, dans deux expériences successives, donne donc le rapport des flux lumineux dans les deux essais. On a ainsi directement, et très facilement, les valeurs relatives correspondant aux différents régimes de l'arc.

Pour transformer ces résultats comparatifs en mesures absolues et pour pouvoir donner les flux en lumens et les intensités moyennes sphériques en bougies décimales, il est nécessaire de déterminer le coefficient de proportionnalité entre l'éclairement du photomètre et le flux produit, c'est-à-dire de faire l'étalonnement ou le tarage du lumenmètre et de toute l'installation.

Étalonnement de l'installation. — La recherche du rendement du miroir du lumenmètre et la détermination du coefficient de diffusion de l'écran conduiraient à des recherches difficiles, délicates, et le résultat définitif ne pourrait être que peu précis. Il est plus simple et plus sûr de déterminer d'un seul bloc le coefficient par lequel il faut multiplier l'éclairement du photomètre exprimé en lux pour avoir le flux produit en lumens.

---

vement la vis sans fin. Devant ses yeux se trouvent l'ampèremètre et le voltmètre donnant le régime de l'arc. Il est facile de maintenir la constance des indications des appareils en agissant avec attention. Ce procédé employé avec soin permet d'obtenir un réglage plus précis que celui d'une lampe automatique et surtout convient aussi bien pour tous les régimes.

La différence de potentiel était mesurée entre deux pinces fixées sur les charbons eux-mêmes à une distance de l'arc de 5 cm environ (p et p').

Une résistance réglable, en série avec l'arc, était placée à la portée de l'opérateur. L'arc est amené à son régime par des modifications successives de la résistance en série et de l'écart des charbons. Le régime étant établi, il suffit pour maintenir sa constance de rapprocher les charbons de manière à compenser l'usure.

[1] Voici comment était faite cette dernière mesure. Une lentille fixée dans l'enveloppe sphérique du lumenmètre donnait sur un écran vertical une projection de l'arc avec un grossissement de 4,5. On mesurait avec un papier divisé au millimètre la distance la plus courte entre les deux charbons, il est facile d'en déduire la longueur vraie correspondante.

Par suite de la forme concave du cratère positif, cette longueur n'est pas la distance entre les deux points où jaillit l'arc; il faudrait pouvoir y ajouter la profondeur du cratère à partir de ses bords. Cela n'est pas mesurable par projection. L'erreur est naturellement d'autant plus forte que l'écart est plus petit. Il arrive même pour les faibles tensions que la pointe du négatif pénètre légèrement dans le cratère; l'écart paraît nul en projection et en réalité il aurait une valeur très appréciable.

Il ne faut donc pas attacher une importance trop grande à cette quantité et en tout cas ne pas oublier que les écarts portés dans les tableaux ci-après ne sont que les distances entre les contours apparents des charbons projetés sur un plan vertical.

Pour arriver à ce résultat, il faut mesurer, par une expérience préalable et par une autre méthode, directement en valeur absolue le flux lumineux produit par un arc électrique à un certain régime. Puis, reproduisant les mêmes conditions de fonctionnement de l'arc transporté dans le lumenmètre, chercher l'éclairement correspondant. Comme on connaîtra, d'une part, le flux lumineux, d'autre part, l'éclairement, on déterminera, par le rapport de ces deux nombres, le coefficient global cherché.

Le flux lumineux est facilement déduit de la connaissance de l'intensité moyenne sphérique et cette donnée se déduit, comme on le sait, de la courbe de répartition lumineuse dans un plan vertical au moyen de la transformation graphique indiquée par M. Rousseau ou d'un calcul un peu long, mais très simple à conduire.

Un arc était donc établi au centre de l'appareil à miroirs qui a été décrit antérieurement (1), et qui permet de mesurer l'intensité lumineuse dans les différentes directions. La courbe de répartition est ainsi obtenue par points aussi rapprochés que l'on veut.

Une première expérience a été faite avec des charbons A du diamètre le plus souvent employé dans ces essais. L'arc avait un régime moyen pour ces charbons, 8 ampères et 44 volts.

Une seconde expérience a été reprise avec des charbons C de diamètre beaucoup plus faible; le régime était à peu près le même et correspondait à un flux plus considérable. Voici, d'ailleurs, les résultats de ces essais :

Flux mesuré à l'appareil à miroirs.

	Charbons A.	Charbons C.
Diamètre	A 12/H 8	A 8/H 7
Différence de potentiel moyenne	44	43,3
Intensité moyenne	8	8,9
Flux lumineux total (lumens)	4210	6320
Intensité moyenne sphérique (bougies)	335	518

Essai au lumenmètre.

Éclairement correspondant au régime ci-dessous (lux)	11,6	19,2
Constante déduite	363	340

On a adopté comme constante le chiffre de 350.

(1) *Écl. Élect.*, t. XX, p. 302.

L'erreur à craindre pour l'étalonnement du lumenmètre doit être voisine de 5 p. 100. Comme mesure comparative, au contraire, la précision est certainement supérieure et les écarts causés par les irrégularités des charbons ont une influence plus grande que les erreurs dues aux expériences mêmes (1).

(1) Pour l'exactitude des mesures, il a été constaté qu'il était nécessaire que les charbons fussent bien centrés et que le cratère fût bien horizontal. Il est facile de contrôler ces deux conditions par la projection de l'arc, d'une part, et aussi par l'examen de la tache lumineuse sur l'écran du lumenmètre. Une légère irrégularité dans la position du cratère donne une dissymétrie très nette pour la tache.

Avant de commencer les mesures, on faisait brûler l'arc plusieurs minutes à son régime. Cette précaution est indispensable pour laisser aux charbons le temps de se tailler; naturellement, au moment de l'allumage ou après un passage à un régime très différent, ce temps doit être prolongé.

Les points successifs des courbes ont été obtenus en augmentant, soit la tension, soit l'intensité, et jamais par réductions successives. On a remarqué, en effet, que les régimes excessifs auxquels étaient soumis les charbons avaient une influence marquée sur les régimes modérés qui leur succédaient immédiatement. On n'a pas pu déterminer exactement la cause de ce phénomène, mais il est probable qu'il est dû à la haute température prise par l'extrémité des crayons, ce qui produit un effet de cuisson ou de distillation modifiant les qualités des charbons.

Pour faciliter les recherches et les comparaisons, on trouvera ci-dessous un tableau de concordance des dépenses spécifiques et des rendements lumineux en employant soit les flux exprimés en lumens, soit les intensités moyennes sphériques en bougies décimales.

Tableau de concordance

Rendements lumineux		Consommations spécifiques	
Bougies décimales moyennes sphériques par watt.	Lumens par watt.	Watts par bougie décimale moyenne sphérique.	Watts par lumen.
2	25,12	0,5	0,0398
1	12,56	1,00	0,0796
0,666	8,34	1,5	0,119
0,5	6,28	2	0,159
0,4	5,02	2,5	0,199
0,333	4,18	3	0,238
0,285	3,59	3,5	0,278
0,25	3,14	4	0,318



II. Plan de l'étude. — Il a paru nécessaire, afin de pouvoir déterminer les différents facteurs qui agissent sur l'arc, de les faire intervenir successivement pour séparer leur influence.

On a donc commencé par éliminer, autant qu'il a été possible, les variations dues aux qualités diverses des charbons, en opérant toujours avec des crayons de même provenance. Laissant tout d'abord de côté l'influence des variations de diamètre, on a choisi les dimensions de charbons les plus employées en pratique, charbon à mèche de 12 mm et homogène de 8 mm [1], dont on se sert pour les arcs de 6 à 8 ampères.

Sur cette paire de charbons, on a fait une

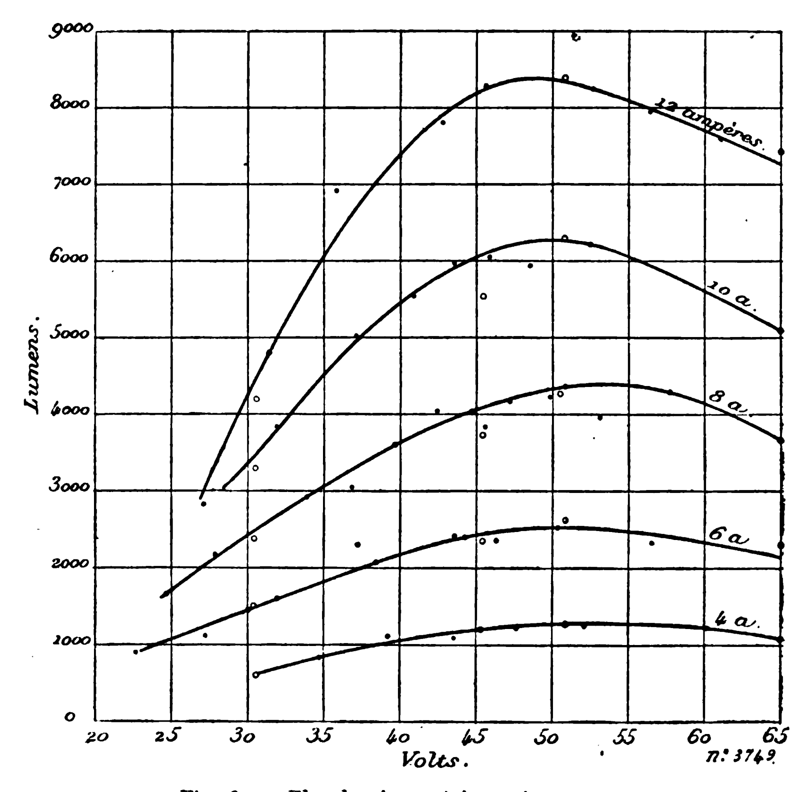


Fig. 3. — Flux lumineux à intensité constante.

étude complète des variations du flux lumineux, du flux spécifique, de l'écart et de l'usure pour des régimes variant de 4 à 12 ampères et de 30 à 55 volts.

Ce premier travail a pu servir de base aux études suivantes : on a cherché successivement quelle influence pouvait apporter la modification du diamètre du charbon négatif, puis du charbon positif. Ensuite, les deux charbons variant ensemble et ayant des diamètres appropriés, on a cherché la relation de la puissance de l'arc et du diamètre avec le rendement lumineux.

Enfin, on a étudié une série de charbons de diamètres et de provenances différentes, dans les conditions habituelles de leur fonctionnement dans les lampes à arc des modèles les plus récents, et l'on a pu tirer de cette première série de comparaisons de charbons quelques nombres intéressants.

III. Étude des charbons, marque A, a 12/H8.
1° *Flux lumineux.* — Voulant étudier le flux lumineux produit par les charbons A 12/H8 pour des régimes variant de 4 à 12 ampères et de 30 à 55 volts, on a fait deux séries d'expériences dans ces limites :

a On a étudié le flux lumineux pour une série de régimes de l'arc, l'intensité restant constante et la différence de potentiel variant successivement de 30 à 55 volts environ ;

b On a étudié le flux lumineux pour des régimes de l'arc tels que, la différence de potentiel

[1] Pour simplifier l'écriture, nous désignerons cette paire de charbons par le symbole A12/H8.

restant constante, l'intensité variait de 4 à 12 ampères environ.

Ces deux séries d'expériences permettaient de nombreuses vérifications pour le contrôle des résultats trouvés.

a Étude du flux lumineux d'un arc à intensité constante et à tension variable. — On a étudié successivement les intensités de 4, 6, 8, 10 et 12 ampères.

Les résultats sont consignés dans les tableaux I, II, III, IV et V et sont résumés et représentés par les courbes de la figure 3. Dans ces courbes, on a porté les tensions suivant les axes des x et les flux lumineux suivant les ordonnées. Chacune de ces courbes se rapporte à une des intensités énumérées plus haut [1].

Charbons A.

Positif à âme . . . . 12 mm
Négatif homogène. . . . . 8 mm

TABLEAU I

Intensité constante : 4 ampères. Tension variable.

DIFFÉRENCE de potentiel.	INTENSITÉ	PUISSANCE	FLUX TOTAL	FLUX spécifique.	ÉCART apparent.
volts	ampères	watts	lumens	lumens/watts	mm
34,7	4	138,8	850	6,15	»
39,1	»	156,4	1 110	6,7	»
43,5	»	174	1 125	6,7	»
47,6	»	190,4	1 240	6,5	»
52,3	»	209	1 280	6,2	»
60,0	»	240	1 245	5,2	»

(1) Les formes de ces courbes sont très analogues à celles données par M. Blondel dans son travail sur l'arc à courant continu. Par contre, on n'a jamais rencontré dans cette étude le maximum suivi d'un minimum signalé par Mme Ayrton dans son remarquable rapport au Congrès de 1900.

Quelle est la cause de ces variations du flux se demandent MM. Laporte et Léonard ? L'augmentation de la première partie de la courbe peut facilement s'expliquer par l'accroissement de l'écart des charbons, ce qui diminue l'occultation causée par le négatif. A quoi attribuer le maximum de flux lumineux, puis sa diminution ? A l'opacité relative des vapeurs de carbone, comme l'indique Mme Ayrton, à la flamme qui entoure l'arc pour ces valeurs de la tension, au refroidissement plus énergique du cratère, moins protégé par le négatif, plus écarté de lui ? Il est difficile dans l'état actuel de pouvoir le déterminer clairement.

TABLEAU II

Intensité constante : 6 ampères. Tension variable.

DIFFÉRENCE de potentiel.	INTENSITÉ	PUISSANCE	FLUX TOTAL	FLUX spécifique.	ÉCART apparent.
volts	ampères	watts	lumens	lumens/watts	mm
22,75	6,05	137,5	915	6,65	»
27,2	»	164,5	1 135	7,5	»
30	»	181,5	1 450	8	»
32	»	193,5	1 580	8,2	0,6
38,5	»	232,5	2 090	9,05	8
43,9	»	266,5	2 430	9	1,4
44,5	»	269,5	2 410	8,95	2,7
50,25	»	303,5	2 560	8,45	3,1
56,6	»	342,5	2 350	7,2	5,7

TABLEAU III

Intensité constante : 8 ampères. Tension variable.

DIFFÉRENCE de potentiel.	INTENSIEÉ	PUISSANCE	FLUX TOTAL	FLUX spécifique.	ÉCART apparent.
volts	ampères	watts	lumens	lumens/watts	mm
24,7	8	198,7	1 670	8,45	»
27,9	»	224	2 150	9,6	0,2
33,9	»	273	2 900	10,6	1,1
39,8	»	321	3 660	11,4	1,5
44,4	»	357	4 050	11,35	2,7
47,4	»	381,5	4 200	11,6	3,6
51,1	»	412	4 370	10,4	4
58	»	475	4 330	9,1	7,4

TABLEAU IV

Intensité constante : 10 ampères. Tension variable.

DIFFÉRENCE de potentiel.	INTENSITÉ	PUISSANCE	FLUX TOTAL	FLUX spécifique.	ÉCART apparent.
volts	ampères	watts	lumens	lumens/watts	mm
28	10	280	3 040	10,8	»
31,4	»	314	3 690	11,75	0,6
37,2	»	372	5 000	13,4	0,9
40,8	»	408	5 550	13,6	1,8
43,5	»	435	5 970	13,7	2,7
45,8	»	458	6 050	13,2	3,6
48,5	»	485	5 950 ?	12,2 ?	5,33
52,6	»	526	6 220	11,8	6,2

TABLEAU V

Intensité constante : 12 ampères. Tension variable.

DIFFÉRENCE de potentiel.	INTENSITÉ	PUISSANCE	FLUX TOTAL	FLUX spécifique.	ÉCART apparent.
volts	ampères	watts	lumens	lumens/watts	mm
27	12	324	2 800	8,6	»
31,3	»	376	4 790	12,7	»
36	»	432	6 200	14,3	»
42,7	»	512	7 800	15,2	1,1
45,5	»	546	8 270	15,1	2,8
49	»	588	8 840	15	4,2
52,6	»	631	8 275	13,1	5,8
56,4	»	677	7 970	11,7	8,7

Elles ont toutes même allure générale : le flux lumineux commence par augmenter à mesure que la tension s'élève, que la puissance dépensée s'accroît et que les charbons s'écartent.

Le flux lumineux, qui augmente rapidement aux environs de 35 volts, s'accroît de moins en moins vite à mesure que la tension s'élève ; il reste à peu près constant de 45 à 55 volts en passant par un maximum aux environs de 50 volts.

Il est très intéressant pour chaque régime de l'arc de calculer le flux spécifique, c'est-à-dire le rapport du flux lumineux à la puissance électrique dépensée. Cette donnée, très commode pour la comparaison des arcs, reviendra souvent au cours de cette étude comme caractéristique du rendement lumineux de l'arc.

En construisant les courbes de flux spécifiques comme il a été fait dans la figure 4, on constate qu'elles ont même allure générale que les courbes de flux, mais que le maximum a lieu plus tôt pour une tension de 41 volts. Il était facile de prévoir ce résultat d'après la courbe des flux, les puissances croissant proportionnellement à la tension et le flux lumineux augmentant de moins en moins.

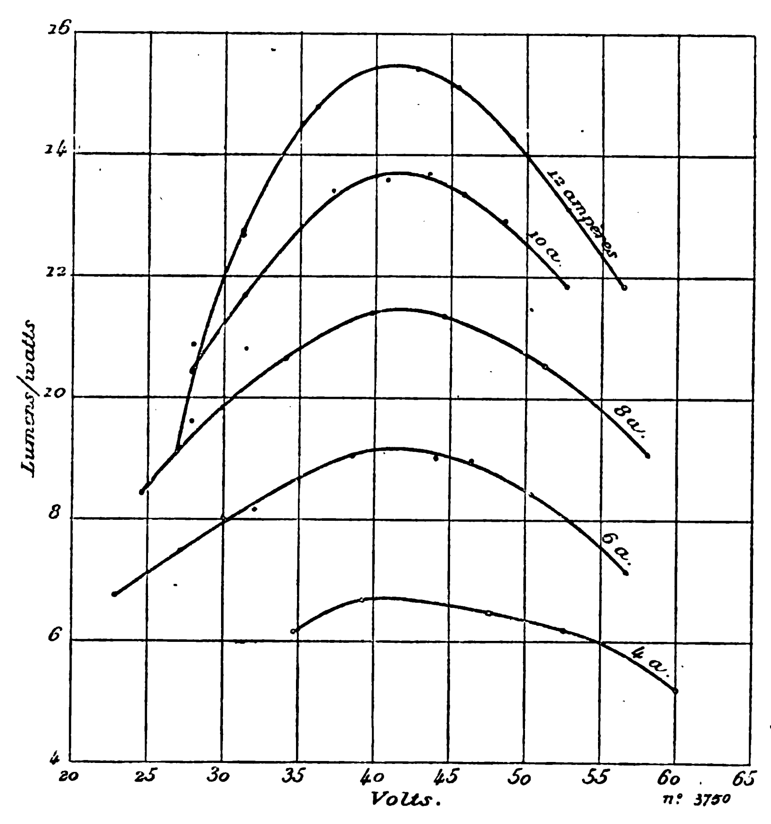


Fig. 4. — Flux spécifique à intensité constante.

b Étude du flux lumineux d'un arc à tension constante et à intensité variable. — On a choisi un certain nombre de tensions, 30, 45, 50 et

*****

65 volts, et pour chacune d'entre elles on a mesuré le flux lumineux pour des intensités variant de 4 à 12 ampères au moins. On peut vérifier ainsi certains points des courbes de la première série. Pour deux de ces tensions l'intensité a été poussée plus loin que 12 ampères, afin de déterminer la forme de la courbe. De même on a choisi la tension de 65 volts pour vérifier la diminution de flux lumineux pour les tensions supérieures à 50 volts (V. tabl. VI et VII).

En traçant les courbes des flux en fonction de l'intensité du courant, on constate que celle de 51 volts a les plus grandes ordonnées, puis vient celle de 45 volts, ensuite celle de 65 et enfin la courbe de 30 volts est la plus basse de toutes.

L'allure de la variation est la même. Les flux

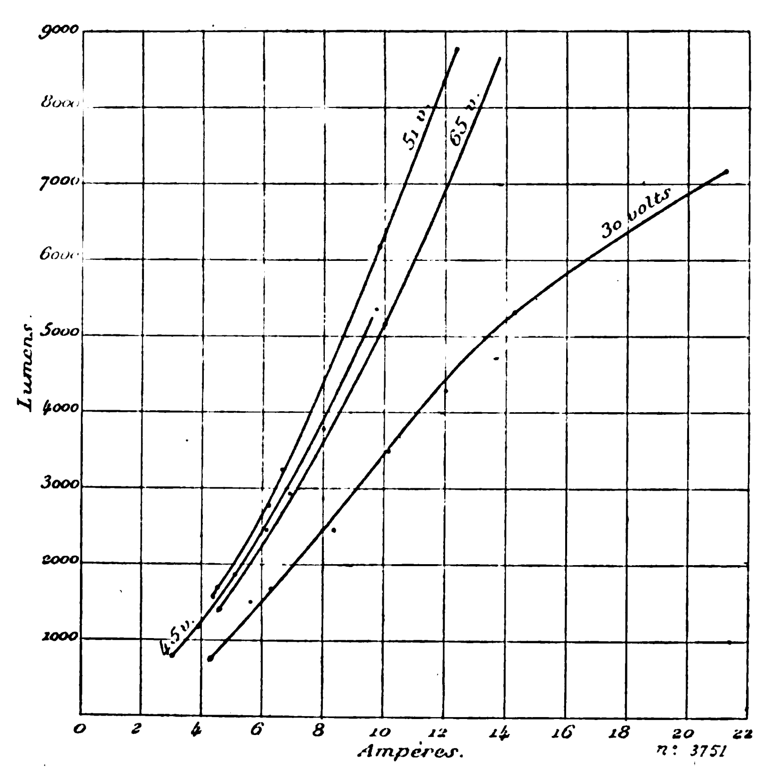


Fig. 5. — Flux lumineux à tension constante.

croissent franchement avec l'intensité du courant et leur accroissement est plus rapide que celui de l'intensité, puisque les courbes tournent leur convexité vers l'axe des intensités (fig. 5), au moins pour les régimes étudiés (1).

Les courbes de flux spécifique donnent des résultats analogues ; ce sont les expériences à 45 volts qui donnent les ordonnées les plus grandes, comme on pouvait le prévoir. Elles vont en montant à mesure que les intensités s'accroissent, mais leur courbure est inverse de celle que nous signalions tout à l'heure pour les courbes de flux : l'accroissement du flux spécifique est inférieur à l'accroissement du courant, la concavité est tournée du côté de l'axe des intensités.

c. Représentation graphique des résultats précédents. — Pour trouver le flux lumineux correspondant à un régime de l'arc ne tombant pas sur les courbes précédentes, on pourrait faire une interpolation entre elles. Afin de faciliter autant que possible cette détermination, on a fait la transformation graphique suivante qui permet d'obtenir la représentation continue des résultats :

Sur deux axes de coordonnées rectangulaires tracés dans le plan de la figure, on a porté à des échelles appropriées les tensions aux bornes de l'arc (axe des x) et des intensités du courant

(1) Au delà de 12 ampères la courbe de 30 volts s'infléchit en sens inverse.

TABLEAUX VI ET VII

Charbon A.

Positif à mèche. . . . . . . 12 mm
Négatif homogène . . . . . 8 »

Différence de potentiel constante. Intensité variable.

DIFFÉRENCE de potentiel.	INTENSITÉ	PUISSANCE	FLUX TOTAL	FLUX spécifique.	ÉCART apparent.
volts	ampères	watts	lumens	lumens/watts	mm
30,5	4,2	129	715	5,5	
»	6,3	191	1 690	8,6	
»	8,4	256	2 470	9,6	
»	10,2	310	3 500	11,3	
»	12	366	4 180	11,4	
45,3	3	136	730	5,4	1,3
»	3,9	178	1 170	6,6	1,4
»	5	226	1 810	8	1,8
»	6,1	276	2 430	8,8	2,6
»	8	362	3 730	10,3	3,1
»	9,7	440	5 330	12,1	3,3
51	4,4	225	1 620	7,2	3,8
»	6,2	317	2 780	8,8	4,2
»	9,9	503	6 150	12,2	5
»	12,3	628	8 730	13,9	5,4
65	4,5	294	1 410	4,8	
»	6,9	446	2 890	6,5	
»	10	560	5 130	7,9	
»	16,6	1 075	13 000	12,1	

(axe des y) (fig. 6). Chaque régime de l'arc défini par un certain nombre de volts et d'ampères sera donc représenté par un point du plan très facile à déterminer. Supposons que les flux lumineux soient portés suivant un troisième axe perpendiculaire au plan de la figure et par conséquent aux deux axes déjà tracés. En portant donc pour une série de points du plan, c'est-à-dire pour une série de régimes de l'arc, une longueur proportionnelle au flux lumineux sur une perpendiculaire au plan, tous ces points pourraient être supposés réunis entre eux et former une surface gauche qui serait la représentation continue du phénomène étudié.

Nous connaissons déjà cette surface par les courbes données plus haut. Les courbes à intensité constante en sont des sections par des plans perpendiculaires au plan de la figure et parallèles à l'axe des tensions et menés par les points 4, 6, 8, 10 et 12 ampères de l'axe des intensités. De même les courbes à tension constante donnent les sections de la surface par des plans perpendiculaires au plan de la figure et parallèles à l'axe des intensités.

Cherchons maintenant la section de la surface par un plan parallèle au plan de la figure et à la distance qui correspond à l'échelle adoptée, au flux de 5 000 lumens, par exemple. Tous les points de cette courbe correspondent donc à des régimes de l'arc produisant le même flux et nous les connaîtrons en cherchant la courbe déterminée par le pied des perpendiculaires abaissées de ces points sur le plan de la figure. On pourra tracer de même la courbe du flux de 6 000, de 7 000 lumens, etc. Ces lignes d'égal flux peuvent facilement être construites par points au moyen des courbes de flux à intensité ou à tension constante.

On pourra avoir ainsi sur le plan représentatif des régimes une série de lignes s'enveloppant l'une l'autre, ne se coupant pas, formées chacune des points correspondant à un même flux. Pour un régime quelconque donné il suffit de chercher sur le plan le point représentatif et de lire sur les deux courbes qui bornent la zone dans laquelle il se trouve les deux flux voisins entre lesquels est comprise sa valeur.

Cette représentation est analogue à celle d'un plan topographique, le flux remplaçant l'altitude ou la cote (fig. 6).

Les courbes ont été tracées de 1 000 en 1 000 lumens pour ne pas surcharger la figure, et il est facile d'obtenir par simple lecture une interpolation permettant de fixer le second chiffre.

On trouvera également les courbes analogues pour le flux spécifique. Il serait facile de retrouver sur cette représentation nouvelle les diverses conséquences déjà énumérées (fig. 7).

Proposons-nous, au contraire, comme application, d'étudier le flux lumineux et le rendement d'un arc à des régimes différents, mais tels que la puissance dépensée reste constante.

Remarquons tout d'abord que dans ces conditions la variation du flux lumineux et celle du flux spécifique s'effectueront de la même manière, le second s'obtenant en divisant le premier par un seul et même nombre, puissance dépensée dans l'arc.

Cherchons la représentation des points correspondant à ces différents régimes. Ils sont donnés par la relation de l'égalité de puissance dépensée, c'est-à-dire $EI = \text{const.}$ Il est facile de tracer la courbe correspondant à cette condition; c'est une hyperbole équilatère.

En déplaçant le point représentatif le long de

cette courbe, on peut suivre d'après les lignes de niveau les variations du flux spécifique (fig. 7).

Les courbes correspondant aux différentes puissances déduites de ces résultats ont été tracées sur la figure 8 en fonction de la tension. Elles ont même allure générale. Elles commen-

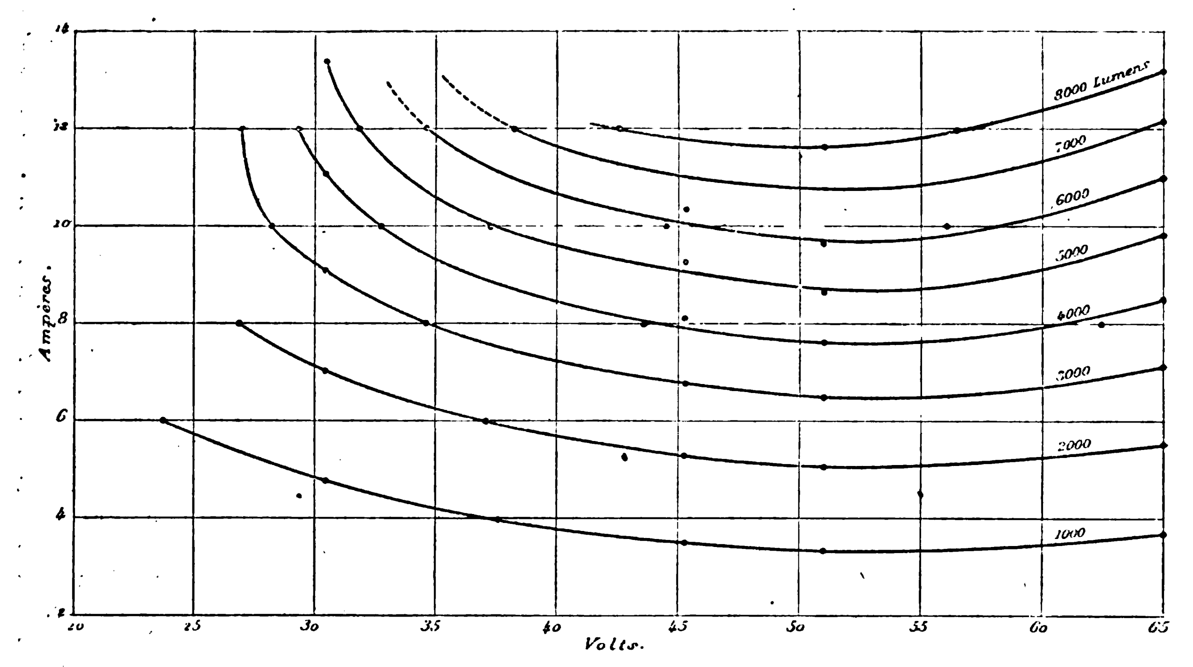


Fig. 6. — Courbes d'égal flux lumineux.

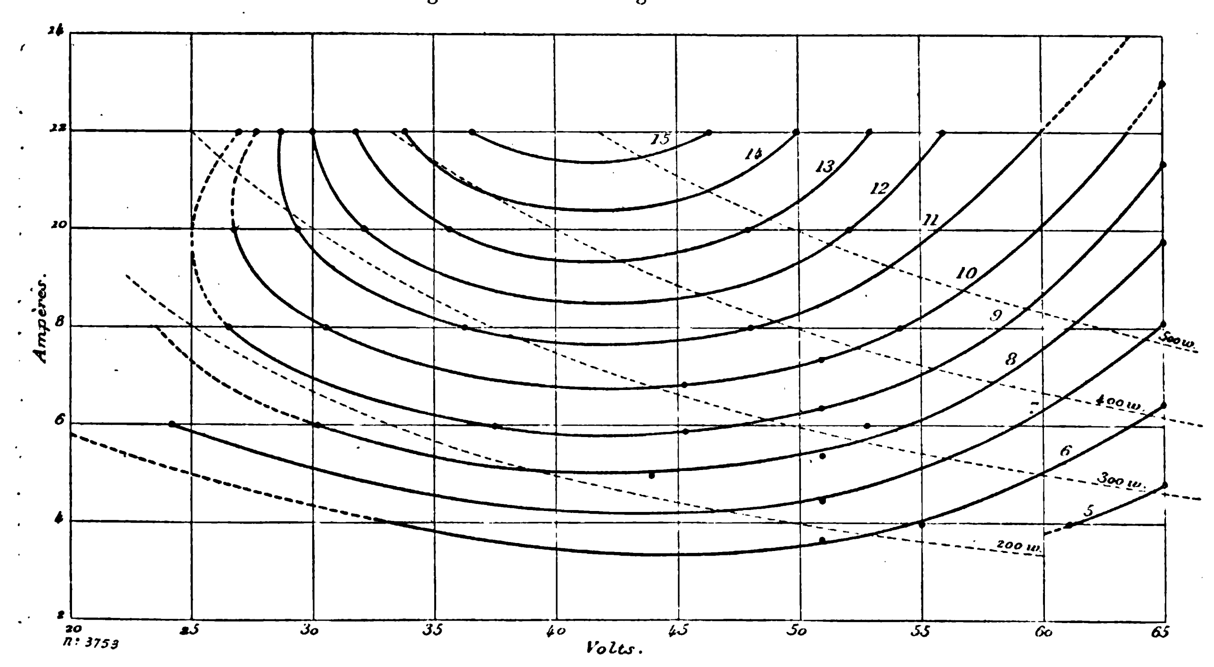


Fig. 7. — Courbes d'égal flux spécifique.

cent par croître, quand la tension s'élève, passent par un maximum, puis décroissent lentement. La tension correspondant au maximum varie avec la puissance, elle est de 28 volts environ pour 200 watts, passe à 32 volts pour 300 watts et atteint 36 volts pour 400 watts.



2° *Consommation horaire des charbons.* — L'étude du flux lumineux amenant à augmenter le plus possible l'intensité du courant et par conséquent l'usure, il était nécessaire d'étudier également cette question, afin de posséder le problème sous toutes ses faces.

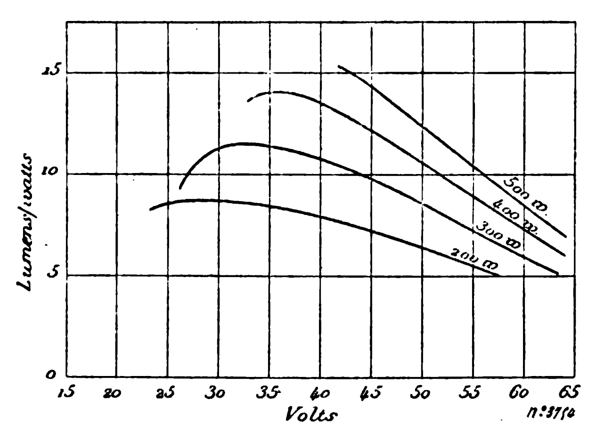


Fig. 8. — Flux spécifique à puissance constante.

Pour faire cette détermination, on s'est servi de deux lampes à arc différentielles montées en tension et alimentées sous 110 volts. Les deux lampes étaient réglées au même régime; on laissait les charbons se tailler, puis on mesurait la longueur de chaque crayon et on prenait son poids. Les lampes restaient allumées un temps déterminé pendant lequel on relevait à diverses reprises la tension et l'intensité. La longueur et le poids étaient repris après l'arrêt.

Les résultats des deux lampes se contrôlaient l'un par l'autre.

Les consommations de charbons par heure en longueur ou en poids déduites de ces données suivent les mêmes variations. Dans ce qui va suivre, on parlera surtout de l'usure en longueur, plus facile à mesurer et à comparer et plus utile aussi, puisque ce qui intéresse avant tout, c'est la longueur utilisable limitée par les porte-charbons de la lampe.

a. Etude de l'usure par heure des deux charbons; arc à intensité constante et à tension variable. — On trouvera au tableau VIII les résultats obtenus avec une intensité de 4, 8 et 12 ampères.

Charbon positif. — Pour 8 ampères de 30 à 45 volts, l'usure reste la même (22 mm par heure); à partir de 45 volts, la consommation du positif croît de plus en plus vite (28 mm pour 53 volts).

TABLEAU VIII

Charbons A.

Positif à âme . . . . 12 mm
Négatif homogène. . . . . . 8 »

Intensité constante, 4, 8 et 12 ampères. Tension variable.

RÉGIME DE L'ARC			CONSOMMATION en poids		CONSOMMATION en longueur	
Différence de potentiel.	Intensité.	Puissance.	Positif.	Négatif.	Positif.	Négatif.
volts	amp.	watts	gr	gr	mm	mm
31,8	4,2	133,5	2,25	0,9	14,3	12,2
40	4,2	168	2,53	0,13	15,1	15,4
50,4	4,2	211	3,12	1,71	18,8	21,8
30,4	7,95	242	3,67	1,15	22	14,3
34,7	7,95	276	3,52	1,40	21,6	17
40,3	7,75	313	3,64	1,74	22,1	21,6
45	7,75	348	3,86	2,01	22,2	26,1
50,9	7,75	394	4,25	2,34	25,1	29,2
53,6	7,8	418	»	»	28	31,8
33,3	12	400	4,66	1,55	27,7	19,1
36,5	12	438	4,92	1,57	28,5	20,4
40,75	12	489	»	»	28,5	25,2
51,2	12	615	»	»	32,6	37
54,5	12	654	»	»	36	39

Charbon négatif. — L'usure est très faible aux basses tensions (14 mm pour 30 volts); l'accroissement est rapide et régulier jusque vers 45 volts, et au delà a une tendance à se ralentir (32 mm à 53 volts).

La courbe moyenne de la figure 9 montre ces variations; la consommation des deux charbons est la même pour 40 volts; il se peut que les deux courbes se rapprochent de nouveau vers 55 volts, mais l'expérience n'a pas été faite.

On trouvera les courbes d'usure correspondant à 4 et 12 ampères qui ont été déterminées par quelques points.

b. Etude de l'usure par heure des deux charbons; arc à tension constante et à intensité variable. — On trouvera au tableau IX les résultats obtenus à la tension de 40 volts.

Charbon positif. — L'usure croît régulièrement et presque proportionnellement depuis 15 mm pour 4 ampères jusqu'à 28 mm pour 12 ampères. Cependant la courbe présente une légère concavité vers l'axe des ampères.

Charbon négatif. — La consommation croît

régulièrement de 4 à 8 ampères en restant égale à celle du charbon positif; à partir de 8 ampères, la courbe devient inférieure à celle du

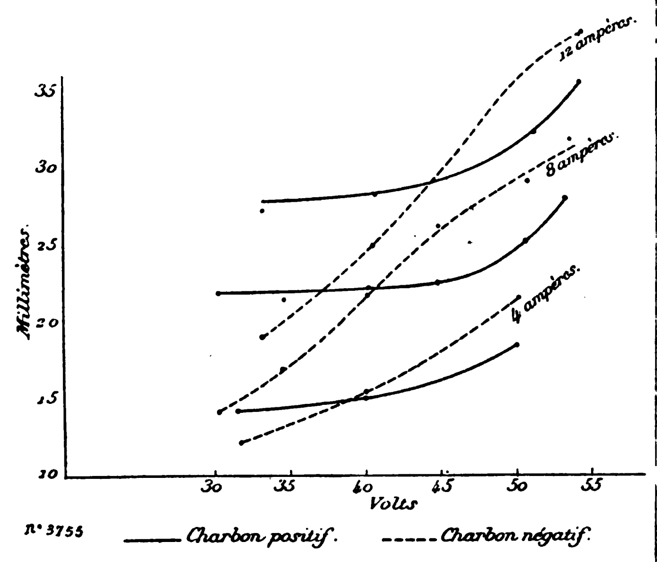


Fig. 9. — Usure des charbons à intensité constante.

positif. Pour 12 ampères, 25 mm au lieu de 28.

On a déterminé également quelques usures à 34 et à 50 volts.

TABLEAU IX

Charbons A.

Positif à âme . . . . 12 mm
Négatif homogène . . . . . 8 »

Tension constante. Intensité variable.

Régime de l'arc			Consommation horaire			
			en poids		en longueur	
Différence de potentiel.	Intensité.	Puissance.	Positif.	Négatif.	Positif.	Négatif.
volts	amp.	watts	gr	gr	mm	mm
40,0	4,2	168	2,53	1,13	15,1	15,4
40,0	5,8	232	3,20	1,37	19,2	19,2
40,4	7,85	317	3,73	1,58	22,0	22,5
40,7	9,6	391	4,23	1,71	25,3	23,5
40,7	11,6	472	4,67	1,85	28,0	25,2

c. Représentation graphique des résultats. — Tous ces résultats ont été réunis sur un seul graphique où l'on a tracé sur le plan, comme pour le flux lumineux, les courbes d'égale usure (fig. 10).

Les courbes correspondant au charbon positif et au négatif n'ont pas du tout la même allure.

On peut remarquer que la consommation des deux charbons est la même de 4 à 9 ampères pour la tension de 40 volts environ. Lorsque

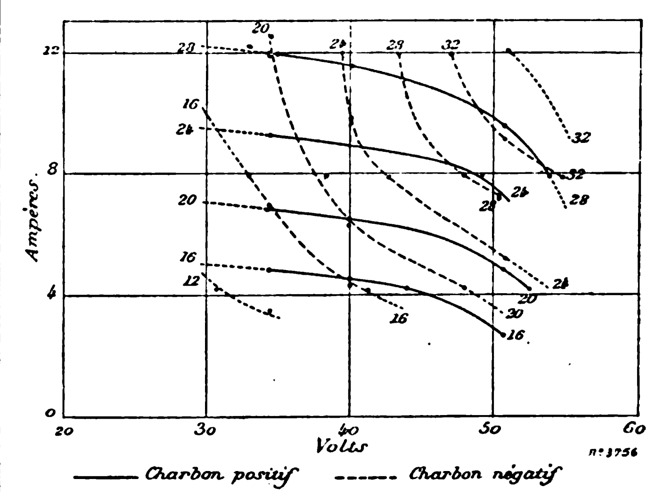


Fig. 10. — Courbes d'égale usure,

l'intensité augmente au delà de cette limite, la tension croît un peu : 44 volts pour 11 ampères.

3° *Forme de l'arc.* — Par suite du fonctionnement même de l'arc et de l'usure qui en résulte, les crayons prennent des formes caractéristiques qui dépendent de la composition et de la nature des charbons du régime même de l'arc.

Des dessins ont été faits par projection de l'arc sur un écran vertical au moyen d'une lentille fixée dans la sphère opaque du lumenmètre. On suivait, avec la pointe d'un crayon, les contours des projections des charbons. On a cherché à faire des photographies, mais les premiers essais n'ont pas été très satisfaisants.

a. Ecart des charbons. — Les écarts des charbons ont été portés sur les tableaux des résultats d'expériences chaque fois qu'ils ont été observés [1].

b. Forme des charbons. — Cette forme est

[1] On a déjà fait remarquer le peu de précision de la détermination de l'écart par suite de la forme concave du cratère positif.

Les variations de composition dans la mèche du charbon positif amènent des différences parfois assez considérables dans les écarts pour des régimes semblables.

indiquée, pour différents régimes [1], par la figure 11.

4° *Résistance électrique des charbons.* — La résistance spécifique des charbons employés a été mesurée sur plusieurs crayons et les moyennes sont données dans le tableau suivant :

Résistivité des charbons employés.

	Diamètre. cm	Résistance par mètre. ohms	Résistivité. ohmcentimètre
Charbon positif à âme.	1,2	0,645	0,0073
Charbon négatif homogène.	0,8	1,135	0,0057

Température : 15 degrés environ.

IV. Influence de la variation du diamètre des charbons sur le flux lumineux. — 1° *Variation du diamètre du charbon négatif.* — Des différentes sources de lumière dans l'arc [1] la plus considérable de beaucoup est la surface circulaire légèrement concave placée horizonta-

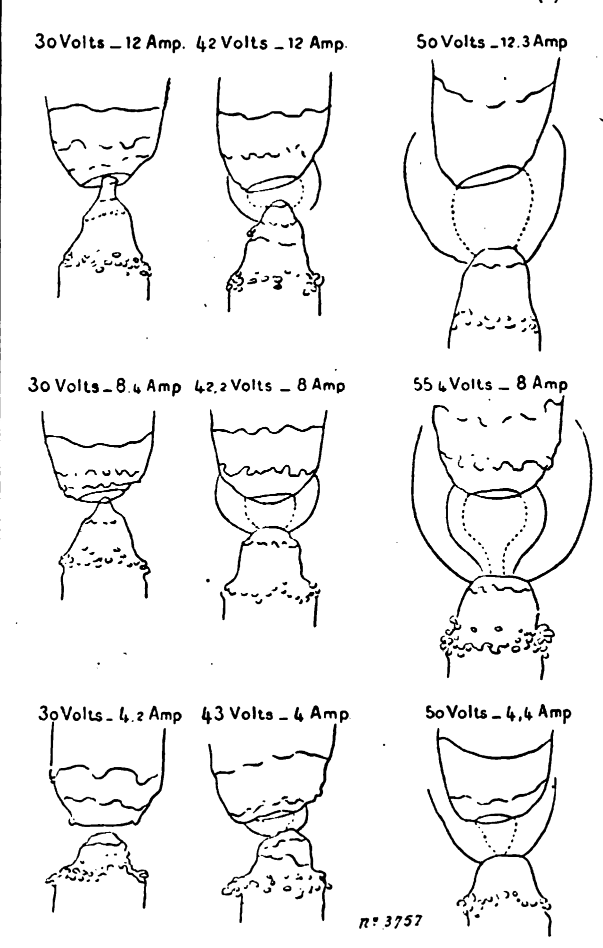


Fig. 11. — Formes des charbons.

[1] Au régime moyen de 8 ampères, 42 volts, on observe :

Sur le charbon positif, trois parties principales :

1° Le cratère creusé à l'extrémité du charbon positif en forme de calotte sphérique concave ;

2° Une zone de forme ogivale dans laquelle le carbone paraît entièrement débarrassé des produits de distillation ;

3° Une zone de forme ogivale continuant la deuxième zone, et la raccordant avec la surface cylindrique du crayon et séparée de la deuxième zone par une frange de cendres qui, ou bien distillent encore pour aller se déposer plus loin, ou se détachent et tombent.

Sur le charbon négatif, on peut distinguer :

1° La pointe ou plutôt l'extrémité ici en forme de calotte sphérique convexe. Le carbone paraît débarrassé des produits de distillation.

2° Le tronc de cône raccordant la pointe au cylindre du crayon. C'est une zone de combustion et surtout de distillation, la plus grande partie des bulles et des cendres allant se masser à la partie inférieure du tronc de cône vers la ligne de raccordement avec la surface cylindrique du crayon.

Il y a lieu de remarquer tout d'abord qu'en général, et avec les charbons essayés, l'inclinaison des génératrices du tronc de cône est telle que la surface latérale n'est pas éclairée par le cratère, ou du moins très obliquement.

Quand le régime change, on remarque :

1° La dimension du cratère ne paraît dépendre que de l'intensité du courant. Il augmente naturellement avec elle. A intensité constante, le diamètre du cratère augmente très légèrement en passant de 30 à 50 volts ; cela tient probablement à l'aplatissement de la calotte sphérique à mesure que la tension augmente et par suite à la diminution de sa profondeur.

2° La zone ogivale où le carbone paraît pur s'étend à mesure que la tension ou l'intensité croissent dans l'arc.

Pour 4,2 ampères et 30 volts, cette zone n'est pas visible sur la figure, la ligne des cendres étant très voisine du cratère ; à mesure que la puissance augmente, cette ligne s'en écarte de plus en plus.

3° L'extrémité du charbon négatif est d'autant plus aplatie que le courant est plus faible et la tension plus forte. Pour 4,4 ampères et 51 volts la calotte est presque réduite à un plan. Pour 4,4 ampères 30,5 volts ; pour 8 ampères 42 volts ; pour 12 ampères, 52 volts, la calotte a comme hauteur la moitié environ de son diamètre. Pour 8,4 ampères et 30,5 volts, l'extrémité devient un cône dont la hauteur est à peu près égale au diamètre de base.

Enfin, pour 12 ampères, 30,5 volts, la pointe s'effile et l'on remarque un dépôt de charbon que les électriciens nomment *champignon*.

[1] Ces sources sont :

1° Le cratère du charbon positif ;

lement à l'extrémité du charbon positif, c'est-à-dire le cratère.

Si nous considérons ce qui se passe pour un arc de 8 ampères, 40 volts, jaillissant entre les charbons étudiés, positif à âme 12, négatif homogène 8, la surface lumineuse est relativement grande, le diamètre de ce cercle est environ de 4 mm, et l'éclat est extrêmement élevé, M. Blondel donnant 163 à 210 bougies décimales par mètre carré.

Le rayonnement du cratère ne peut se faire qu'en dessous de l'horizon. D'autre part, le charbon négatif d'un diamètre de 8 mm se trouve placé en dessous du cratère, la pointe à

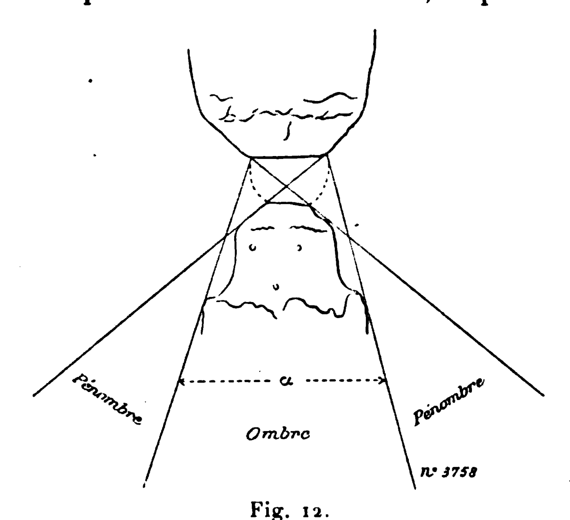


Fig. 12.

une distance de 1 mm à 2 mm (fig. 12). Toute la partie du flux lumineux émis par le cratère dans l'angle solide α se trouve arrêtée par le charbon négatif. Une certaine partie de ce flux est réfléchie par la surface conique, mais cette portion est faible et la plus grande partie est absorbée.

Cette occultation produite par le charbon négatif explique la forme de la courbe de la répartition lumineuse de l'arc. Si, en effet, on suppose que la surface du cratère suit la loi d'émission de Lambert, la courbe de la répartition lumineuse serait un cercle défini par l'équation

$$\rho = I_{max} \cos \alpha,$$

2° L'arc proprement dit et la flamme qui l'entoure;
3° La tache lumineuse du charbon négatif;
4° L'incandescence de l'extrémité des charbons;
5° La réflexion qui peut se produire sur le charbon négatif.

en prenant comme pôle le centre O du cratère et en comptant les angles à partir de la normale au cratère (fig. 13).

Si l'on compare ce cercle à la courbe de répartition lumineuse obtenue sur un arc à cou-

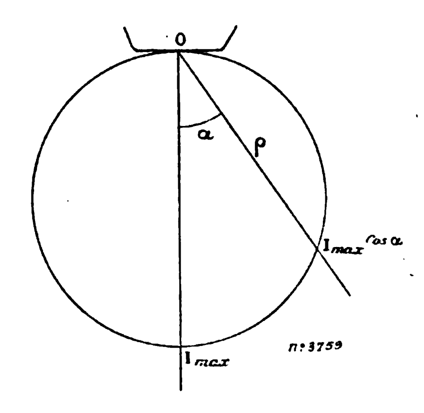


Fig. 13.

rant continu dans la portion située en dessous de l'horizon, on constate que la courbe est très voisine du cercle théorique (fig. 14). A partir

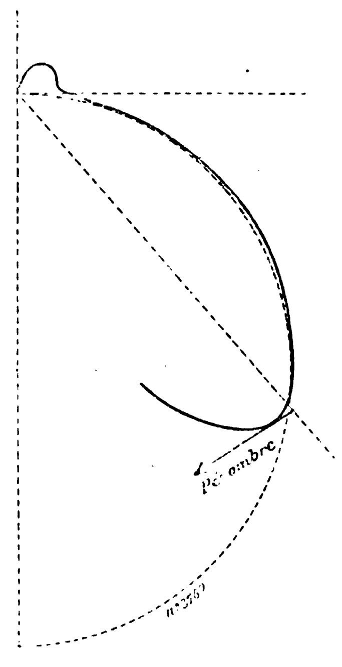


Fig. 14.

d'un certain angle, l'effet de la pénombre commence à se faire sentir et l'intensité lumineuse diminue par suite de l'occultation de plus en plus complète du cratère par le charbon néga-

tif. A partir d'un certain vecteur, l'occultation est complète.

Connaissant l'angle correspondant à ces différents vecteurs, on peut calculer la valeur des angles solides, et si l'on admet la répartition lumineuse suivant la loi de Lambert, on en déduira les pertes de flux, produit de la valeur de l'angle solide par l'intensité lumineuse moyenne dans cet angle.

Pour déterminer expérimentalement l'influence du diamètre du charbon négatif sur le flux, on a associé successivement à un charbon positif à âme de 12 mm une série de charbons négatifs de diamètre variant de 4 mm à 15 mm ; on a mesuré les flux pour l'intensité de 8 ampères et les tensions de 35, 40 et 45 volts.

Le tableau X donne les résultats obtenus et les courbes de la figure 15 ont été tracées en portant les diamètres du négatif suivant l'axe des x et les flux en ordonnées (1).

TABLEAU X

Charbon positif constant. . . . . A 12 mm

DIAMÈTRE du négatif.	INTENSITÉ	TENSION	FLUX	INTENSITÉ	TENSION	FLUX	INTENSITÉ	TENSION	FLUX
mm	amp.	volts	lumens	amp.	volts	lumens	amp.	volts	lumens
4	8	35	2 850	8	40	3 400	8	45	3 630
6	»	»	2 600	»	»	3 330	»	»	3 620
8	»	»	2 400	»	»	3 250	»	»	3 580
10	»	»	2 200	»	»	2 820	»	»	3 400
12	»	»	2 100	»	»	2 600	»	»	3 020
15	»	»	1 800	»	»	2 250	»	»	2 550

2° *Variation du diamètre du charbon positif.* — L'influence du diamètre du charbon positif est assez délicate à déterminer. Les variations de composition des charbons et surtout de la mèche ont une influence très notable sur la quantité de lumière émise.

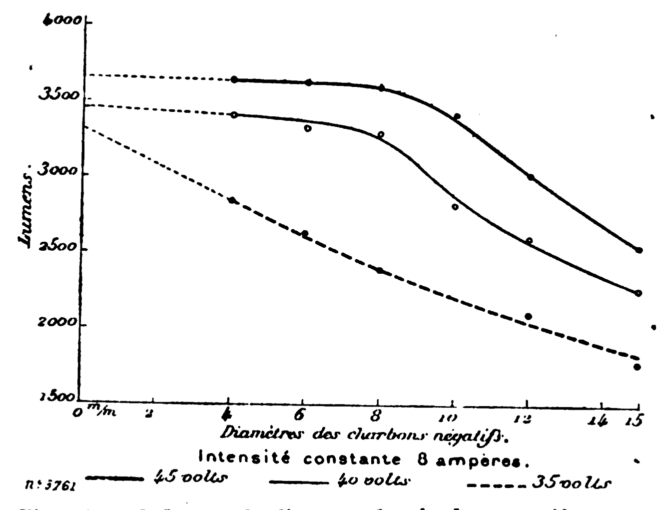


Fig. 15. — Influence du diamètre du charbon négatif.

(1) Si l'on observe la courbe correspondant au régime de 8 ampères 40 volts, on remarque que le flux va en augmentant à mesure que le diamètre diminue. De 15 mm à 12 mm la différence, quoique notable, n'est pas très forte. Par contre, de 12 mm à 8 mm, diamètre ordinairement employé avec le charbon positif de 12 mm, la variation est très rapide et l'emploi d'un charbon négatif de 12 mm au lieu de 8 mm amène une perte de flux de 25 p. 100.

Si l'on continue à diminuer le diamètre en dessous de 8 mm, le gain devient négligeable ou du moins ne compense pas l'inconvénient d'une usure beaucoup plus rapide. Le charbon de 4 mm ne donne que 6 à 7 p. 100 de plus que le charbon de 8 mm, et quoique son usure n'ait pas été mesurée, on a pu constater qu'elle était très grande.

L'association des charbons 12 et 8 paraît donc être bien choisie pour le régime de 8 ampères 40 volts, d'autant plus que l'on a vu plus haut que l'usure des deux crayons était égale.

L'allure de la courbe correspondant à 35 volts n'est pas la même ; la variation du flux lumineux est presque proportionnelle à la diminution du diamètre.

Pour la courbe à 45 volts, au contraire, de 4 à 8 mm, le flux reste le même et ne commence à décroître qu'au-dessus de ce diamètre.

Ces différences d'allure sont dues aux variations correspondantes de l'angle solide d'occultation.

Pour 35 volts, l'écart apparent des charbons est faible, 0,5 mm environ, et il en résulte qu'un négatif, même d'un petit diamètre, portera une ombre étendue. Pour

Les résultats dans les mêmes conditions sont assez différents les uns des autres et l'on est obligé de prendre la moyenne de plusieurs expériences pour voir la marche du phénomène.

Dans cette série d'essais, on a conservé tout le temps comme charbon négatif un crayon homogène de 8 mm et l'on a fait varier le positif de 6 à 20 mm.

Les mesures ont été faites à la tension constante de 40 volts pour des intensités de 6, 8 et 10 ampères. Les essais ont presque tous été repris deux ou trois fois avec des charbons positifs différents, afin de pouvoir éliminer un peu les erreurs accidentelles.

Les résultats sont portés sur le tableau suivant et l'on a tracé (fig. 16) les courbes des flux obtenus en fonction du diamètre du charbon positif (¹).

TABLEAU XI

Charbon négatif constant. . . . . H8 mm

DIAMÈTRE du positif.	INTENSITÉ	TENSION	FLUX	INTENSITÉ	TENSION	FLUX	INTENSITÉ	TENSION	FLUX
mm	amp.	volts	lumens	amp.	volts	lumens	amp.		
6	6	40	3 000	8	40	5 120	10	arc sifflant	
								volts	lumens
8	»	»	2 780	»	»	4 710	»	40	6 370
10	»	»	2 370	»	»	3 860	»	»	5 500
12	»	»	1 930	»	»	3 210	»	»	4 350
13	»	»	1 890	»	»	3 040	»	»	4 380
14	»	»	1 600	»	»	2 720	»	»	3 900
16	»	»	1 580	»	»	2 690	»	»	3 920
17	»	»	2 000	»	»	2 960	»	»	3 850
18	»	»	1 960	»	»	2 840	»	»	4 080
20	»	»	1 960	»	»	3 240	»	»	4 470

3° *Variation du diamètre des deux charbons.* — A l'occasion d'expériences demandées au Laboratoire par le jury de la classe 25, 13 lampes à arc de modèles différents ont été essayées. Ces lampes ont été montées dans les conditions normales de leur emploi, par deux ou par trois en série et avec les charbons fournis par le constructeur.

Un enregistreur spécial a permis de relever, pendant une heure et sur le même diagramme, l'intensité du courant et la différence de potentiel aux bornes des deux ou trois lampes en série.

Les charbons qui avaient servi à cet essai ont été ensuite placés dans le lumenmètre et le flux lumineux a été mesuré dans les conditions d'intensité et de tension du fonctionnement moyen dans la lampe à arc. Quelques épreuves supplé-

45 volts, l'écart est de quatre à cinq fois plus grand et les charbons, jusqu'à 8 mm, n'occultent qu'une portion de flux peu importante.

Il faut aussi tenir compte de ce fait que l'angle solide est très faible tant que l'angle du vecteur avec la normale est petit, mais qu'ensuite sa variation est beaucoup plus rapide que ne l'indiquerait la variation de l'angle.

(¹) Ces tableaux et courbes montrent que :

1° Quand, partant du charbon de 12 mm, on diminue le diamètre, le flux lumineux augmente notablement ; dans cet intervalle, les expériences sont concordantes et le résultat très net.

Le charbon positif variant de 12 mm à 6 mm, le flux lumineux pour 6 ampères passe de 2 000 à 3 000 lumens, et pour 8 ampères, de 3 200 à 5 100.

Le gain est donc très marqué. Il en est de même pour 10 ampères ; mais à 40 volts avec un charbon positif de 6 mm, on tombe dans le régime instable étudié par Mme Ayrton et l'arc est sifflant.

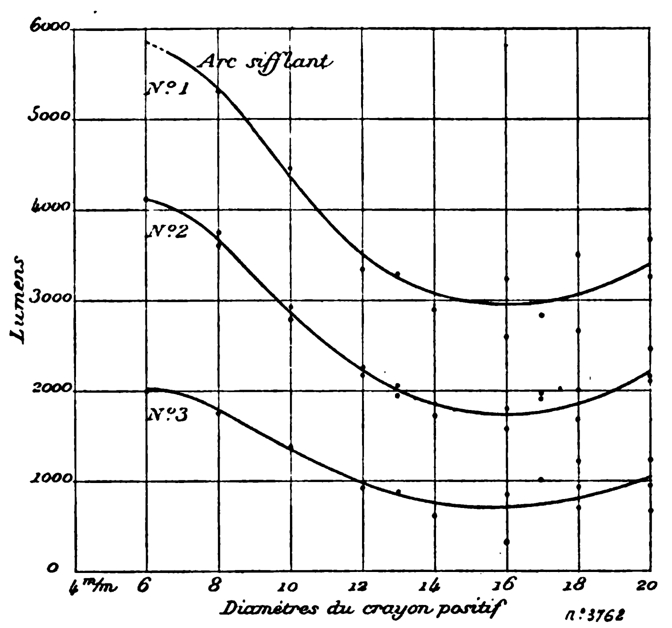
2° Quand le diamètre passe de 12 mm à 20 mm, le flux lumineux varie peu. Les résultats pour les deux diamètres extrêmes sont les mêmes et le flux lumineux paraît passer par un minimum pour le diamètre intermédiaire de 16 mm.

Dans cet intervalle, comme il a été signalé plus haut, les expériences donnent des résultats assez variables, probablement suivant la nature du charbon, et, en tout cas, on peut considérer le flux comme à peu près constant, puisque la différence serait de 400 lumens entre le minimum et le flux produit avec le diamètre de 12 mm.

On peut dire, en résumé, qu'avec un charbon négatif

mentaires, à des régimes voisins, ont permis de déduire les résultats qui suivent.

Parmi ces charbons, plusieurs paires prove-



Fig, 16. — Influence du diamètre du charbon positif. Tension constante.

N° 1 : 10 ampères. N° 2 : 8 ampères. N° 3 : 6 ampères.

naient du même constructeur, étaient de même nature, mais de diamètres différents. On a essayé ainsi successivement :

	A âme.	Homogène.
Charbons A	12	8
»	16	10
Charbons B	13	9
»	17	10
Charbons C	13	8
»	17	10

et l'on a pu rapprocher les résultats obtenus avec eux.

La comparaison peut se faire à un double point de vue, la différence de potentiel restant constante et voisine de la valeur qui donne le maximum de flux spécifique à intensité constante.

a. On peut étudier les flux lumineux produits par les deux paires de charbons pour les mêmes valeurs de l'intensité du courant.

b. On peut étudier les flux lumineux et surtout les flux spécifiques, l'intensité du courant étant proportionnelle aux sections des charbons, c'est-à-dire la densité du courant étant la même dans les deux arcs.

a. Comparaison des flux lumineux à intensité égale. — On trouvera dans le tableau XII les résultats des essais (1).

b. Comparaison des flux spécifiques à densité de courant égale. — La densité du courant a été calculée pour le charbon positif et a été exprimée en ampères par centimètre carré. On trouvera les résultats de ces essais dans les tableaux XIII et XIV. Comme on peut le constater, ce sont les plus gros charbons qui donnent les flux spécifiques les plus élevés et qui, par conséquent, donnent le meilleur rendement pour l'arc.

Cet effet était à prévoir, puisque c'est presque une loi générale pour toutes les transformations de l'énergie, que les rendements s'améliorent à mesure que l'importance de la machine augmente et que croît la quantité d'énergie utilisable. Certaines pertes, en effet, sont loin d'être proportionnelles à la quantité d'énergie transformée, et leur importance relative diminue à mesure que la puissance de la machine augmente (2).

de 8 mm et pour des intensités variant de 6 à 10 ampères, on augmente beaucoup le flux en choisissant pour le positif un diamètre inférieur à 12 mm.

Entre 12 mm et 20 mm, le diamètre du charbon positif n'a pas d'influence notable sur le flux lumineux produit.

(1) Les charbons de gros diamètre donnent pour une même intensité de courant un flux lumineux plus petit, et cette diminution est d'autant plus sensible que l'intensité du courant est plus grande. Pour un accroissement de diamètre de 30 à 33 p. 100, le flux spécifique diminue de 10 à 20 p. 100, et cela à peu près quelle que soit la nature des charbons (au moins pour les trois sortes de charbons essayés).

Il semble, d'après les essais rapportés plus haut sur les influences relatives des dimensions des charbons positif et négatif, que cet effet doive être attribué principalement au charbon négatif et à l'occultation plus grande qui résulte d'un diamètre plus fort. Quoi qu'il en soit, pour un arc dont l'intensité du courant est donnée, on a intérêt, pour avoir la plus grande quantité de lumière et le meilleur rendement, à choisir les charbons du diamètre le plus faible compatible avec la bonne marche de la lampe et l'usure que l'on veut admettre. On doit donc choisir pour les arcs une densité de courant élevée.

Il n'a pas été malheureusement possible de constater, par des mesures de l'usure horaire, l'accroissement relatif de la consommation de charbon; nous nous proposons, dans la suite, de compléter les essais sur ce point.

(2) Dans le cas de l'arc électrique dont les détails de fonctionnement sont encore si mal connus, il est difficile

TABLEAU XII

DIAMÈTRES A 12/H 8			DIAMÈTRES A 16/H 10			RAPPORT B/A
		Flux spécifique A			Flux spécifique B	
volts	ampères	lumens/watts	volts	ampères	lumens/watts	
Charbons A.						
41	6	9,15	41,5	6	8,8	0,96
»	»	»	»	7	9,8	»
»	8	11,5	»	»	»	»
»	10	13,7	»	10	11,85	0,865
»	12	15,5	»	11,8	12,9	0,832
Charbons B.						
DIAMÈTRES A 13/H9			DIAMÈTRES A 17/H 12			
45	8	12,65	44,5	8	11	0,87
41,5	10	14	44	10	12,3	0,88
»	11,8	15,3	44,5	11,8	13,2	0,864
»	15	17,1	»	15,1	15,9	»
Charbons C.						
DIAMÈTRES A 13/H 8			DIAMÈTRES A 17/H 11			
41,5	7	11,2	43,4	7	10,2	0,91
42,5	8	13,25	»	8	10,9	0,823
41,5	10,2	15,6	»	9	11,9	»

TABLEAU XIII

Influence des diamètres à densité égale.

DIAMÈTRES A 12/H 8				DIAMÈTRES A 16/H 10				RAPPORT B/A
		Densité.	Flux spécifique A.			Densité.	Flux spécifique B.	
volts	ampères	amp/cmq.	lumens/watts	volts	ampères	amp/cmq.	lumens/watts	
Charbons A.								
41	4,55	4	7,3	41,5	8	4	10,4	1,42
»	5,65	5	8,7	»	10	5	11,9	1,37
»	6,8	6	10	»	12	6	13	1,30
»	9,05	0	12,7	»	16	8	15	1,18
»	11,03	10	14,9	»	»	»	»	»
Charbons B.								
DIAMÈTRES A 13/H 9				DIAMÈTRES A 17/H 12				
41,5	5,03	4	8,2	44,5	9,1	4	11,7	1,42
»	6,65	5	10,3	»	11,35	5	13,2	1,28
»	7,95	6	11,9	»	13,6	6	14,8	1,24
»	10,6	8	14,5	»	18,2	8	18	1,24
»	13,27	10	16,2	»	22,7	10	19,5	1,20
Charbons C.								
DIAMÈTRES A 13/H 8				DIAMÈTRES A 17/H 11				
44,5	»	»	»	43,4	6,8	3	10,2	»
»	5,3	4	9	»	9,1	4	11,9	1,32

V. Comparaison de charbons de provenances différentes. — Afin de faire l'étude des charbons dans les conditions les plus favorables on a opéré de la façon suivante :

On a comparé entre eux des charbons de même diamètre, 5 paires de charbons de 12 ou 13 à âme et de 8 homogone, et 3 paires de 14 à âme 10 homogène. On a cherché pour chacun d'eux, à intensité constante, la différence de potentiel donnant le flux spécifique le plus avantageux ; puis, adoptant cette tension, on a cherché le flux lumineux et on a calculé le flux spécifique pour différentes intensités de courant. On peut, dès lors, rapprocher les flux spécifiques correspondant à de mêmes intensités de courant, car on est assuré que chaque charbon a été essayé à son régime le plus favorable.

On a donné dans le tableau suivant la différence de potentiel choisie pour l'essai, la densité de courant exprimée en ampères par centimètre carré de la section du charbon positif et le flux spécifique correspondant à ce régime.

TABLEAU XIV

Densité de courant égale.

1° Charbons A 12 ou 13/H 8.

Charbon	A	C.	C.	B.	D.
Nature	ordinaire	basse tension	ordinaire	»	»
Diamètre	A 12/H 8	A 13/H 8	A 13/H 8	A 13/H 9	A 13/H 8
Différence de potentiel aux charbons	41	36	41,5	41,5	41
Densité de courant dans le charbon positif; ampères par centimètre carré.	Flux spécifiques (lumens/watts).				
4	7,3	10,4	9	8,2	»
5	8,7	11,7	10,8	10,3	11,6
6	10	12,7	12,7	11,9	»
8	12,7	14,3	16	14,5	»
10	14,9	15,6	18,3	16,2	»

2° Charbons A 14/H10.

Charbon	E.	F.	B.
Nature	ordinaire	haute tension	ordinaire
Diamètre	A 14/H 10	A 14/H 10	A 14/H 10
Différence de potentiel aux charbons	42,3	49	42
Densité de courant dans le charbon positif; ampères par centimètre carré.	Flux spécifiques (lumens/watts).		
5	11,1	»	12,1
6	13	12,4	»
8	15	»	»
10	16,7	»	»

Il est facile avec ces données de retrouver l'intensité du courant, la puissance dépensée et le flux total fourni, et il vaut mieux donner des résultats directement comparables.

---

d'analyser les différentes pertes; on peut dire cependant que le refroidissement dû à l'air et au rayonnement peut être une de ces causes de diminution d'énergie qui ne varie pas aussi vite que la puissance dépensée.

L'avantage obtenu par l'emploi d'un diamètre plus fort diminue à mesure que la densité du courant augmente, comme si les charbons plus poussés et plus chauds se trouvaient dans des conditions de refroidissement plus voisines.

Avec les charbons A de 16/10 et une densité de 4 ampères par centimètre carré, le flux spécifique est de 40 p. 100 supérieur à celui produit par les charbons de 12/8. Pour la densité de 6, l'augmentation de flux spécifique est de 25 à 30 p. 100 ; pour la densité 8, le gain n'est plus que de 18 p. 100.

On peut remarquer que, dans les conditions de ces expériences, la différence des flux spécifiques donnés pour les deux paires de crayons reste à peu près constante, quelle que soit la densité. L'origine des charbons ne semble pas influer sur cet accroissement.

Il résulte du tableau XIV et de la figure 17 que les charbons essayés étaient de nature très différente, l'un d'eux ayant le maximum de ren-

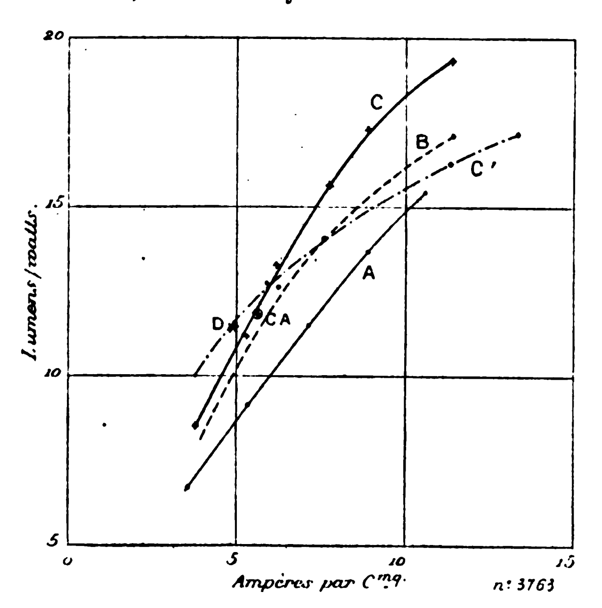


Fig. 17. — Flux spécifique maximum.

A, charbons A; B, charbons B; C, charbons C ord.; C', à basse tension ; D, charbons D.

dement pour 36 volts et un autre pour 49 volts ; en général, cependant, leur point de fonctionnement le plus favorable est de 41 à 42 volts [1].

Pour les densités de courant habituellement employées en pratique, 6 à 7 ampères par centimètre carré, l'augmentation de flux spécifique est de 20 à 30 p. 100 pour un accroissement de diamètre de 30 à 33 p. 100 et un accroissement de puissance de 70 à 75 p. 100.

Les essais ne sont pas assez nombreux pour pouvoir chercher à relier les résultats entre eux et à déterminer la relation entre le diamètre et le flux spécifique.

Mais on peut dès maintenant dire que, parmi des arcs marchant dans des conditions semblables, c'est-à-dire à la même tension et à la même densité de courant, ce sont ceux qui consomment le plus de puissance qui sont les plus économiques et qui donnent le meilleur rendement.

On aura donc intérêt, au point de vue de la bonne utilisation de l'énergie en lumière, à réduire le nombre des foyers lumineux autant que le permettront les considérations de bonne répartition lumineuse et d'uniformité dans l'éclairage, qui interviennent forcément dans le choix du nombre des foyers lumineux.

(1) Entre des charbons de même nature, c'est-à-dire ayant à peu près le même point de fonctionnement, on a trouvé des différences atteignant $\frac{11,6-8,7}{8,7} = 33$ p. 100 (entre le charbon D et A). On peut donc obtenir un gain important de lumière par le choix du charbon le plus avantageux parmi ceux qui conviennent à la lampe par leur nature.

Un autre point est à signaler. Les deux charbons C, l'un à basse tension, l'autre de qualité ordinaire, montrent qu'à faible densité de courant, 4 ampères par centimètre carré, le premier est nettement avantageux $\frac{10,4-9}{9}$, soit 15,5 p. 100. A la densité du courant ordinaire 6, les deux rendements sont égaux ; si l'on augmente encore l'intensité et qu'on aille jusqu'à 8, le charbon ordinaire prend un avantage marqué $\frac{16-14,3}{16} = 10$ p. 100.

On peut donc remarquer que les lampes fonctionnant par 3 en série sous une faible tension sont particulièrement intéressantes chaque fois que, par des considérations d'usure et de durée d'éclairage, on sera amené à choisir une faible densité de courant dans les charbons ; ce sera un moyen d'atténuer le mauvais rendement de l'arc fonctionnant avec une faible densité de courant.

La composition des charbons joue un rôle très important. Pour un même régime de l'arc, elle fait varier dans de grandes limites l'écart entre les charbons, elle modifie également leur forme, ainsi qu'on peut le constater par l'inspection de la figure 18.

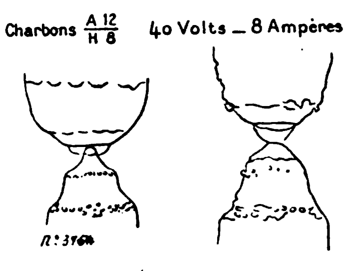


Fig. 18.

Ces dessins ont été faits sur deux arcs au même régime ; les charbons avaient des qualités équivalentes au point de vue de la tension la plus favorable du fonctionnement.

Les profils du négatif diffèrent entièrement : dans l'un, le cône est bien formé, régulier, avec une pointe aiguë et brillante ; dans l'autre le contour est irrégulier, en partie cylindrique ; enfin, la pointe est remplacée par une calotte sphérique.

Ce que la figure ne rend pas, c'est pour l'un la structure fine, homogène dans toute la partie tronconique soumise à la distillation : à peine la base du cône est-elle marquée par une légère ligne de bulles. Dans l'autre, au contraire, le

grain du charbon est beaucoup plus grossier ; sur la surface on voit de grosses bulles en pleine ébullition qui vont rejoindre l'épaisse ceinture de produits de distillation à la base du cône.

VI. Flux lumineux produit par deux ou trois lampes en série sous 110 volts. — Comme conclusion à cette étude on peut donner les observations suivantes sur les lampes fonctionnant par deux ou par trois en série :

Si l'on cherche sur les courbes les flux correspondant à une même intensité et aux tensions qui correspondent à la marche des lampes par deux ou par trois, on arrive aux résultats suivants ; il faut bien remarquer que ces charbons sont employés pour les arcs ordinaires et par conséquent ne sont pas favorables aux basses tensions :

	Lampes par trois en série.	Lampes par deux en série.
Intensité du courant .	8	8 amp.
Différence de potentiel aux charbons. . . .	33	43 volts
Flux lumineux pour une lampe	2800	3900 lumens
Flux lumineux total. .	8400	7800 »

Afin de pouvoir comparer des lampes différentes, il est bon de chercher dans les deux cas le flux lumineux produit par watt dépensé. La dépense est ici la même, de 880 watts, car il est indispensable de faire entrer dans la consommation des deux lampes en série la perte due au

TABLEAU XV

Lampes par deux en série.

LAMPE	CHARBON	DIAMÈTRE	FLUX TOTAL	PUISSANCE	FLUX SPÉCIFIQUE	DÉPENSE spécifique watts bougies.
			lumens	watts	lumens	watts
A	*Cb. t* [1]	A 16 / H 10	7 000	880	8	1,56
B	C	A 13 / H 8	3 700	550	6,7	1,87
C	B	A 17 / H 12	10 700	1 100	9,7	1,3
D	E	A 14 / H 10	11 900	1 100	10,8	1,16
E	A	A 16 / H 10	10 200	1 100	9,3	1,35
F	C	A 17 / H 11	7 540	880	8,6	1,46
G	B	A 8 / H 5	1 360	236	5,75	2,18
H	A	A 12 / H 12	7 280	880	8,3	1,51
I.	C	A 13 / A 8	6 500	770	8.5	1,48
Lampes par trois en série.						
J.	B	A 14 / H 9	10 260	880	11,7	1,07
K	F	A 14 / H 10	10 650	990	10.8	1,16
L	*Cb.t.* et A	A 13 / H 8	9 450	825	11.5	1,09
M	*Cb.t.*	A 13 / H 8	9 150	770	11,9	1,05

(1) Charbons C, basse tension.

rhéostat nécessaire au bon fonctionnement des lampes. On trouve alors pour le flux spécifique global :

	Pour 3 lampes.	Pour 2 lampes.
Lumens/watts	9,55	8,85

soit un avantage de 8 p. 100 en faveur du montage par trois lampes en série.

On a dit plus haut que treize paires de charbons avaient été essayées dans les conditions mêmes de leur fonctionnement dans des lampes différentes et actuellement en service courant; neuf de ces lampes fonctionnaient par deux en série et quatre étaient montées par trois.

Le tableau XV donne pour chacun des types le flux lumineux total produit, la puissance dépensée et le flux spécifique qui s'en déduit. En jetant un coup d'œil sur ce tableau, il est facile de constater tout de suite que les lampes par trois en série donnent, en général, un flux spécifique plus grand.

Il n'est peut-être pas très correct de prendre la moyenne d'expériences ne se rapportant ni aux mêmes puissances dépensées, ni aux mêmes charbons essayés ; mais en faisant toute réserve sur l'exactitude du procédé en lui-même et en ne tenant pas compte des résultats obtenus avec la lampe de deux ampères, trop inférieurs aux autres, on obtient

	Lampes par deux en série. 8 lampes.	Lampes par trois en série. 4 lampes.
Puissance moyenne.	907	866
Dépense spécifique moyenne (watt par bougie sphérique)	1,46	1,09

soit en faveur des dernières un avantage de 30 p. 100 environ. Il est bien entendu que ce résultat favorable est purement expérimental et photométrique et vient seulement s'ajouter comme document à cette question, beaucoup plus complexe, puisqu'elle comprend la répartition lumineuse, le bon fonctionnement des appareils et les questions si importantes des frais de premier établissement et d'entretien (1).

(1) A la suite de cette communication, M. Hillairet, président, s'exprime ainsi :

Je remercie M. Janet de l'exposé si complet et si clair qu'il a bien voulu nous faire des recherches de ses collaborateurs. MM. Laporte et Léonard, à qui nous sommes heureux d'adresser nos félicitations.

Les récentes Communications de M. Janet vous permettent de constater, Messieurs, l'importance croissante des travaux du Laboratoire, dans l'ordre des recherches, c'est-à-dire en dehors des essais et étalonnements tarifés, depuis qu'un service spécial a été créé à cet effet et confié à M. Laporte.

A l'occasion de l'Exposition de 1900, ce service a dû entreprendre d'intéressants essais pour le compte des jurys. M. Janet nous a déjà entretenus des compteurs qu'il a eu à examiner; vous venez d'entendre le résumé des premiers travaux entrepris sur l'arc électrique avec l'appui de la classe 25, et j'espère que nous obtiendrons l'autorisation de vous communiquer prochainement les résultats de déterminations effectuées au Laboratoire sur des systèmes d'éclairage exposés dans cette même classe.

Les recherches de MM. Laporte et Léonard ont été entreprises avec les fonds et subventions mis à notre disposition par M. H. Fontaine, président du jury de la classe 25, au nom des exposants de cette classe, par le Syndicat des Industries électriques et par l'Association amicale des Ingénieurs électriciens.

La Société internationale des Electriciens sera profondément reconnaissante à ces donateurs de leur généreuse contribution.

Observations sur les arcs en vases clos, par **Hillairet, Bochet, Lecomte.**

A la suite d'une communication de M. Bochet, qui sera analysée dans le prochain numéro, M. Hillairet, président, croit devoir faire observer que l'appréciation de ce dernier concernant l'arc en vase clos est trop absolue, et, par conséquent, trop sévère. L'arc en vase clos ne mérite pas une telle disgrâce (1).

La rupture des manchons intérieurs des

(1) Si le rendement photométrique de l'arc en vase clos est, dit M. Hillairet, inférieur au rendement de l'arc à l'air libre établi et réglé dans les meilleures conditions, il n'en subsiste pas moins que la durée plus que décuple de charbons dans le premier cas par rapport au second, peut être dans certains cas une qualité primordiale. Rappelons-nous que, avant l'apparition des arcs en vase clos, on se préoccupait de réaliser des lampes à incandescence à grande intensité lumineuse, pour remplacer les lampes à arc, uniquement dans le but d'éviter le remplacement journalier des charbons.

C'est ce qui faisait dire à M. H. Fontaine, dans sa Note sur *L'Éclairage Électrique* présentée au Congrès des Électriciens de 1889 : « La nécessité de remettre chaque jour des crayons aux régulateurs à arc est la principale cause d'infériorité de ces appareils sur les grosses lampes à incandescence; elle amènera peut-être un jour la substitution complète de ces dernières aux régulateurs de petite et de moyenne intensité. La main d'œuvre est, en effet, plus qu'une dépense, c'est une *sujétion* qui présente quelquefois de graves inconvénients.

Congrès international des Electriciens, 1889. Rapport de M. Hippolyte Fontaine, p. 33.



lampes à arc en vase clos ne paraît pas d'une fréquence inquiétante ; d'autre part il n'est pas douteux qu'un léger dépôt blanc se forme sur le manchon et le globe.

Enfin, comme l'a rappelé M. Bochet, étant donné que les crayons ne se consument qu'avec une très grande lenteur, le système de réglage peut être presque rudimentaire, ce qui est encore un avantage appréciable dans beaucoup de cas.

M. Bochet, tout en reconnaissant l'avantage de l'arc en vase clos au point de vue de la réduction de main-d'œuvre nécessaire pour le remplacement des charbons, qui faisait espérer une économie notable d'exploitation, signale la déception produite par la sujétion qu'entraînent l'entretien et le remplacement des globes.

M. A. Lecomte cite les essais faits par M. Thomas Hesketh, publiés dans l'*Electrician* de Londres du 9 avril 1897 et qui portent sur :

Une lampe à arc ouvert de 10 ampères, 46 volts à l'arc, charbons de 18 mm × 12 mm, globe opaline.

Une lampe en vase clos (Jandus) de 5,5 ampères, 78 volts à l'arc, globe et manchon opaline, charbons de 13 mm.

et qui ont conduit leur auteur à la conclusion suivante :

« Au point de vue de l'éclairage des rues, on peut voir que, si dans un rayon de 4 m à 5 m l'arc ouvert éclaire quatre fois plus que la lampe en vase clos, le pouvoir éclairant devient sensiblement égal pour les deux lampes dans un rayon de 10 m, mais. à partir de 17 m. le pouvoir éclairant de la lampe en vase clos est plus du double de l'autre.

» Ce résultat ne saurait être trop apprécié. Les ingénieurs qui ont le contrôle de l'éclairage public doivent bien se mettre en garde contre la fausse impression donnée par une lampe qui n'éclaire qu'au pied du pylône, car il n'est là nul besoin d'une lumière si intense, tandis que dans un rayon de 15 m, 20 m ou 30 m, un éclairage double de celui qui existe actuellement serait de la plus grande importance. »

Il rappelle ensuite que le professeur Houston et M. Kennelly ont trouvé une puissance lumineuse maximum de 1295 bougies anglaises pour une lampe de 5,6 ampères sous 110 volts (voir *The Electrical Review* du 28 février 1896).

Quant à la casse des globes intérieurs, c'est, dit M. Lecomte, une question d'avoir un verre convenable et l'on pourrait citer telles installations de 40 et 50 lampes en vase clos, fonctionnant depuis deux et trois ans, dans lesquelles la casse annuelle n'est pas de un manchon par lampe ; c'est donc quantité négligeable.

Il fait ensuite observer : que l'on peut réduire le diamètre des charbons du vase clos et, avec une durée semblable, obtenir un rendement théorique sensiblement égal à celui des lampes par 2 ou 3 en tension, tout en conservant l'avantage d'une meilleure répartition de la lumière due à l'arc long ; et que, malgré les reproches faits au vase clos sur sa teinte, sur son rendement théorique, sur la rotation de l'arc, ses avantages incontestables de longue durée, d'absence d'entretien grâce à un mécanisme délicat, simple et robuste, de réduction à un minimum de la main-d'œuvre surtout, l'ont fait adopter dans les sucreries, les raffineries, les filatures et les ateliers en genéral, après essais contradictoires, et les usagers apprécient encore mieux ces avantages à la longue.

Il faut donc, conclut-il, considérer le vase clos, non comme devant remplacer tout genre d'éclairage, mais comme répondant à des exigences qui ne pouvaient satisfaire les arcs en série, et formant ainsi un appoint permettant désormais l'éclairage par arc dans tous les cas, et tendant à donner de l'extension à l'éclairage électrique plus qu'à concurrencer l'arc ordinaire.

M. Lecomte ajoute qu'il serait toutefois intéressant, au point de vue industriel, d'avoir des documents pratiques exacts indiquant, non plus le prix de revient théorique de la bougie-heure, mais bien le prix de l'éclairage-heure (tout compris) d'une surface déterminée à l'aide des trois systèmes d'arcs pour éclairage public ou privé.

Le Gérant : C. NAUD.

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Généralités, Conducteurs, Électrolytes et Diélectriques.

Décharge électrique.

Oscillations hertziennes, Rayons Rœntgen, Rayons Becquerel, etc.

Magnétisme.

Sources d'électricité.

Électricité atmosphérique et Magnétisme terrestre.

Électrocapillarité.

Électrobiologie.

APPLICATIONS

Génération et Transformation de l'Énergie Électrique.




Digitized by Google

Distribution de l'énergie électrique.

Applications mécaniques.



Traction électrique.

Télégraphie et Téléphonie.



Applications thermiques.

Éclairage électrique.

Électrochimie et Électrométallurgie.

MESURES



DIVERS

Sociétés savantes, techniques et industrielles.



Expositions, Congrès, etc.

Exposition Universelle.

Lois, Décrets et Règlements.



Bibliographie.

TABLE DES NOMS D'AUTEURS



W


Digitized by Google

h) *Passe-fils ou pipes.* — Pour traverser les murs vers l'extérieur, il faut se servir de passe-fils en matière isolante et incombustible, l'extrémité étant courbée vers le bas.

i) Pour traverser des cloisons et des tableaux de distribution en bois, les trous doivent être garnis de passe-fils en matière isolante et incombustible.

E. Appareils

Art. 20. — Les parties conductrices du courant de tous les appareils intercalés dans une conduite doivent être fixées sur des socles incombustibles et, s'il s'agit de locaux humides, soigneusement isolés ; ils doivent être entourés de caisses protectrices de manière à empêcher que des personnes non autorisées y touchent et à les séparer d'avec des matières inflammables.

Dans le cas de courants alternatifs, les enveloppes protectrices de tous genres doivent être ou bien en matière isolante ou reliées spécialement à la terre.

Les parties conductrices du courant de tous les appareils doivent être isolées d'avec la terre tout aussi soigneusement et au moyen de matières tout aussi bonnes que les conduites montées dans les locaux dont il s'agit. Aux entrées des conduites, l'écartement des parois prescrit pour la conduite doit être observé. Les contacts doivent être de dimensions telles que le courant maximum qui y circule ne puisse pas produire une élévation de température de plus de 20° C. au-dessus de la température ambiante. Pour les tableaux de distributions dans les salles de machines, voir l'article 3.

Art. 21. — *Coupe-circuits.* *a*) Tous les conducteurs partant du tableau de distribution et allant aux endroits d'utilisation du courant doivent être protégés par des fusibles ou d'autres dispositifs interrompant le circuit automatiquement.

b) Le fusible doit être proportionné à la section du fil le plus mince qu'il protège.

Le courant normal du fusible nécessaire pour protéger un conducteur d'une section donnée est égal au courant maximum toléré dans ce conducteur et déterminé par le tableau de l'article 14 *a*).

Le courant de fusion du coupe-circuit doit être exactement le double du courant normal. Ainsi, par exemple :

Il est permis de choisir pour un conducteur donné un fusible plus faible que celui qui résulterait du tableau précédent.

c) En chaque point où la section des conducteurs varie, il faut placer un coupe-circuit sur chaque pôle et à une distance de 25 cm au plus de l'embranchement. Le raccordement peut présenter une section inférieure à celle du conducteur principal, mais, dans ce cas, il doit être isolé d'avec les matières combustibles environnantes, et ne peut pas être constitué par des conducteurs multiples.

Lorsque l'application du coupe-circuit à une distance de 25 cm au plus des embranchements n'est pas faisable, il faut que la conduite allant de l'embranchement au

---

tière conservatrice du bois et hydrofuge. Dans les lattes à deux rainures, le plein entre les rainures aura une largeur d'au moins 10 millimètres. Les fils seront posés librement dans les rainures ; il est interdit de les maintenir par des pointes. Les couvercles seront vissés. On interposera entre la surface mur ou bois destinée à recevoir la moulure et cette dernière des cales, de manière à laisser derrière la moulure un espace d'air d'au moins 5 mm. Si plus de deux moulures sont posées parallèlement, on y apposera d'une manière visible des marques de couleurs différentes pour permettre de suivre les différents circuits.

DIAMÈTRE du fil en millimètres	SECTION en millimètres carrés	COURANT normal du coupe-circuit en ampères	COURANT de fusion en ampères
9/10	0,64	3	6
10/10	0,78	4	8
12/10	1,13	5	10
15/10	1,77	7	14
20/10	3,14	12	24
25/10	4,91	17	34
30/10	7,07	22,5	45
»	10	30	60
»	15	40	80
»	20	50	100
»	25	60	120
»	30	70	140
»	Etc.	Etc.	Etc.

coupe-circuit ait la même section que la conduite principale.

Les conducteurs neutres ou d'équilibre des systèmes à plusieurs fils ou des circuits polyphasés, ainsi que les conducteurs nus mis à terre intentionnellement, ne doivent pas comporter de coupe-circuits.

d) Les coupe-circuits doivent être construits de telle façon que, lors de la fusion, il ne puisse jamais se produire un arc durable ; les coupe-circuits pour section de fils jusqu'à 7 millimètres carrés (courant de fusion de 45 ampères) doivent être construits de manière à empêcher l'emploi erroné de fusibles trop forts.

Lorsqu'on se sert de fusibles en plomb, le plomb ne doit pas faire lui-même le contact, mais les extrémités des fils ou feuilles de plomb doivent être soudées dans des pièces de contact en cuivre ou en laiton.

On peut faire exception pour les fusibles inférieurs à 2 ampères.

e) Les couvercles métalliques sont interdits, sauf dans le cas des bouchons fusibles genre Edison.

f) Les coupe-circuits doivent être centralisés autant que possible et fixés à une hauteur facilement accessible.

g) La tension maxima du courant doit être indiquée sur la partie fixe du coupe-circuit ; la section du conducteur protégé et le courant normal seront marqués sur le fusible lui-même.

h) Plusieurs dérivations peuvent avoir un seul coupe-circuit, lorsque le courant total qui les alimente ne dépasse pas 6 ampères. Le coupe-circuit commun sera déterminé par le fil le plus fin de l'une quelconque des dérivations.

i) Les cordons souples raccordant des porte-lampes transportables ou d'autres appareils doivent toujours être dérivés par l'intermédiaire d'une prise de courant avec coupe-circuit, dont le fusible soit exactement proportionné à l'intensité du courant.

k) Les coupe-circuits doivent être placés de telle sorte que la fusion ne puisse déterminer en aucun cas l'inflammation de poussières ou de gaz.

Art. 22. — *Interrupteurs. a*) Les interrupteurs et commutateurs doivent être construits de telle manière qu'ils ne puissent être qu'entièrement ouverts ou fermés, sans pouvoir stationner dans une position intermédiaire.

Dans tous ces appareils, la formation d'un arc durable doit être impossible.

b) L'intensité normale et la tension doivent y être indiquées.

c) Tous les contacts métalliques doivent être à frottement.

d) Tout embranchement principal doit être pourvu d'interrupteurs autant que possible sur chaque pôle, qu'il y ait ou non des interrupteurs spéciaux pour les différents locaux.

Dans le cas de courants alternatifs, ainsi que dans les locaux très humides, quelle que soit la nature du courant, des interrupteurs sur tous les pôles sont indispensables aux embranchements principaux ainsi qu'à tous les appareils récepteurs consommant normalement 1 kilowatt et plus.

Dans un réseau à 3 fils, l'interrupteur du fil neutre doit être solidaire de ceux des pôles extrêmes.

e) L'emploi d'interrupteurs et de commutateurs n'est toléré dans les locaux renfermant des substances inflammables et explosives que si ces appareils sont protégés par des enveloppes présentant toute sécurité.

f) Les appareils à couvercles métalliques sont interdits.

g) Les poignées des interrupteurs doivent être en matière isolante.

Art. 23. — *Rhéostats.* Les rhéostats et appareils de chauffage, dont l'échauffement peut dépasser 40° C., doivent être établis de manière qu'il ne puisse y avoir de contact des parties chaudes avec des matériaux inflammables; l'échauffement des parties voisines ne doit pas être supérieur à 40° C.

Les matériaux employés à la construction, à la protection et à la pose des rhéostats doivent être incombustibles.

Il est interdit de les placer dans des locaux où il y a des poussières ou des gaz explosifs.

F. Lampes et porte-lampes

Art. 24. — *Lampes à incandescence. a*) Dans les locaux où une explosion par inflammation de gaz, de poussières où de fibres peut se produire, les lampes à incandescence ne doivent être employées que munies de globes hermétiques recouvrant aussi les douilles.

Les lampes à incandescence qui pourraient venir à toucher des matières inflammables doivent être pourvues de capsules, de globes ou de treillis protecteurs, rendant impossible le contact immédiat des lampes avec ces matières.

Dans les locaux très humides ainsi que dans ceux où il peut se dégager des vapeurs, les douilles des lampes à incandescence doivent être en porcelaine ou matière similaire non hygroscopique et munies de globes hermétiques.

b) Dans les douilles, les parties conduisant le courant doivent être montées sur des supports incombustibles et protégées de tout contact extérieur par des enveloppes également incombustibles, mais ne servant pas à conduire le courant. Le caoutchouc durci et d'autres matières pouvant subir des déformations par la chaleur, ainsi que les produits en bois comprimé, ne peuvent être employés dans l'intérieur des douilles.

c) Les lampes pendantes avec cordon souple conducteur ne sont tolérées que si le poids de la lampe et de l'abat-jour est supporté par un fil porteur spécial, qui peut être tressé ou retordu avec le cordon conducteur. Aux points de fixation ainsi qu'à la douille, les fils conducteurs doivent être plus longs que le fil porteur, afin qu'aucune traction ne soit exercée à l'endroit du raccordement.

D'une manière générale, les conducteurs ne doivent pas servir à la suspension; il faut les décharger au moyen de dispositifs de suspension spéciaux, qui puissent être vérifiés à tout instant.

d) Tous les appareils d'éclairage doivent être isolés et tout particulièrement les appareils mixtes de gaz et d'électricité. Dans ce dernier cas, les fils d'amenée ne doivent avoir aucun contact avec la partie non isolée de la conduite de gaz. La disposition des appareils doit être telle qu'il ne puisse y avoir détérioration des conducteurs par l'usage.

e) Le montage des appareils d'éclairage se faire au moyen de fil isolé au caoutchouc (conforme à l'article 16 *b* au moins) ou de cordon flexible. Lorsque le fil est fixé extérieurement, il doit être attaché de manière à ne pas pouvoir se déplacer et à empêcher toute détérioration de l'isolant par le mode de fixation adopté.

Art. 25. — *Lampes à arc. a*) Les lampes à arc ne doivent pas s'employer sans être munies d'un dispositif qui empêche la chute de particules de charbon incandescent. Il est très recommandable de munir les globes de grillages protecteurs et de cendriers.

b) La lampe doit être montée isolée de terre.

c) Les ouvertures donnant accès aux conducteurs doivent être constituées de telle manière que la couche isolante des fils ne soit pas endommagée et que l'humidité ne puisse pas pénétrer dans la lanterne.

d) Lorsque les fils d'amenée du courant servent à la suspension, les points de raccordement ne doivent pas subir de traction et les fils ne doivent pas être tortillés.

e) L'emploi des lampes à arc est interdit dans les locaux où une explosion peut se produire par suite de l'inflammation de gaz, de poussières ou de fibres.

Les lampes à arc à feu nu (arc semi-direct ou renversé) ne peuvent être employées dans des locaux contenant des poussières inflammables.

Les lampes en vase clos peuvent être employées partout où il n'y a pas de gaz explosifs.

G. Isolement de l'installation

Art. 26. — *a*) La résistance d'isolement contre terre du réseau conducteur entier ou d'un embranchement quelconque doit atteindre au moins

$$10\,000 + \frac{1\,000\,000}{n} \text{ ohms.}$$

Dans cette formule, n représente le nombre de lampes à incandescence raccordées au circuit considéré, y compris l'équivalent de dix lampes à incandescence pour chaque lampe à arc, électromoteur ou autre récepteur.

b) Lorsqu'il s'agit d'installations neuves, il faut mesurer non seulement l'isolement des conducteurs par rapport à la terre, mais aussi l'isolement des conducteurs

de potentiel différant entre eux; la mesure doit se faire après que toutes les lampes à incandescence, lampes à arc, moteurs ou autres récepteurs auront été détachés du réseau, les porte-lampes raccordés, les fusibles mis en place et les commutateurs fermés. Dans ces conditions, les résistances d'isolement doivent satisfaire aux formules ci-dessus.

c) En procédant à la mesure de l'isolement, les conditions suivantes sont à observer : En mesurant une résistance d'isolement par courant continu contre terre, le le pôle négatif de la source de courant doit, autant que possible, être raccordé avec le conducteur considéré, et la mesure ne doit se faire qu'après que le conducteur aura été soumis à la tension pendant une minute. Toutes les mesures d'isolement doivent être effectuées, de préférence, au moyen de la tension de marche. Dans le cas de conduites multiples, il faut entendre par tension de marche la tension simple des lampes.

d) Les installations qui sont faites dans des locaux humides, par exemple dans des brasseries ou des teintureries, n'ont pas besoin de satisfaire au § *a*) de cet article, mais elles doivent se conformer aux conditions suivantes :

Les conducteurs doivent être constitués exclusivement par des matériaux incombustibles et résistant à l'influence de l'humidité, et montés de manière à éviter tout danger d'incendie dû à une dérivation du courant.

H. PLANS ET AFFICHES

ART. 27. — Pour toute installation électrique, il sera établi, après son achèvement, un plan ou un schéma des connexions contenant les indications suivantes :

a) Désignation des locaux d'après leur situation et leur destination. Les locaux humides et ceux qui peuvent contenir des corps corrosifs ou facilement inflammables et des gaz explosifs doivent être mentionnés spécialement ;

b) Emplacement, section et mode d'isolement des conducteurs ;

c) Mode de montage (isolateurs à cloches, roulettes, anneaux, tuyaux, etc.) ;

d) Emplacement des appareils et des coupe-circuits ;

e) Emplacement et consommation en ampères des lampes, électro-moteurs, etc.

Les sections des conducteurs sont indiquées en millimètres carrés, à côté des lignes. Le schéma des connexions doit indiquer la section des conducteurs principaux et des embranchements depuis les tableaux de distribution, avec la mention de la charge. Une nomenclature des locaux sera annexée à ce schéma, avec l'indication des lampes, appareils, coupe-circuits, moteurs, etc.

Les prescriptions du présent article s'appliquent aussi à tous changements et agrandissements.

Le plan ou le schéma des connexions doit être conservé par le propriétaire de l'installation.

ART. 28. — Dans toutes les installations à courants alternatifs, on appliquera aux endroits appropriés des tableaux avertissant, en caractères bien visibles, qu'il est dangereux de toucher aux conducteurs et appareils électriques. De même on affichera des instructions sur le mode de traitement des personnes foudroyées par le courant électrique.

Les transformateurs de Niagara. — La Westinghouse Company nous adresse la lettre de rectification suivante :

Dans le supplément de votre journal en date du 7 septembre, il y a un article intitulé « Appareillage pour la transmission des courants à haute tension, 22 000 volts, sur les lignes Niagara-Buffalo. Dans cet article, pris de *Electrical World and Engineer* du 20 juillet 1901, vous dites que « les anciens transformateurs Westinghouse à refroidissement par l'huile et l'eau ont été remplacés par 20 autres à refroidissement par courant d'air ». Nous voulons vous faire remarquer qu'il y a une erreur dans la traduction. Dans l'*Electrical World* il est dit que « la station a été étendue et que les 20 transformateurs à air ont été installés dans la nouvelle partie du bâtiment. » Les transformateurs Westinghouse sont toujours en opération et n'ont pas été remplacés par d'autres.

Voyages circulaires à itinéraires fixes

Il est délivré toute l'année à la gare de Paris-Lyon, ainsi que dans les principales gares situées sur les itinéraires, des billets de voyages circulaires à itinéraires fixes, extrêmement variés, permettant de visiter en 1re ou en 2e classe, à des prix très réduits, les contrées les plus intéressantes de la France ainsi que l'Algérie, la Tunisie, l'Espagne, l'Autriche et la Bavière.

Avis important. — Les renseignements les plus complets sur les voyages circulaires et d'excursion (prix, conditions, cartes et itinéraires) ainsi que sur les billets simples et d'aller et retour, cartes d'abonnement, relations internationales, horaires, etc... sont renfermés dans le Livret Guide officiel, édité par la Compagnie P.-L.-M. et mis en vente au prix de 50 centimes dans les gares, bureaux de ville et dans les bibliothèques des gares de la Compagnie ; ce livret est également envoyé contre 85 centimes adressés en timbres-poste au Service Central de l'Exploitation P.-L.-M. (Publicité), 20, boulevard Diderot, Paris.

Voyages circulaires à coupons combinables sur le réseau P.-L.-M.

Il est délivré toute l'année, dans toutes les gares du réseau P.-L.-M., des carnets individuels ou de famille pour effectuer sur ce réseau, en 1re, 2e et 3e classe, des voyages circulaires à itinéraire tracé par les voyageurs eux-mêmes, avec parcours totaux d'au moins 300 kilomètres. Les prix de ces carnets comportent des *réductions très importantes* qui atteignent, pour les billets collectifs, 50 p. 100 du Tarif général.

La validité de ces carnets est de 30 jours jusqu'à 1500 kilomètres; 45 jours de 1501 à 3000 kilomètres; 60 jours pour plus de 3000 kilomètres. — Faculté de prolongation, à deux reprises, de 15, 23 ou 30 jours suivant le cas, moyennant le paiement d'un supplément égal au 10 p. 100 du prix total du carnet, pour chaque prolongation. Arrêts facultatifs à toutes les gares situées sur l'itinéraire. Pour se procurer un carnet individuel ou de famille, il suffit de tracer sur une carte, qui est délivrée gratuitement dans toutes les gares P.-L.-M., bureaux de ville et agences de la Compagnie, le voyage à effectuer, et d'envoyer cette carte 5 jours avant le départ, à la gare où le voyage doit être commencé, en joignant à cet envoi une consignation de 10 francs. — Le délai de demande est réduit à deux jours (dimanches et fêtes non compris) pour certaines grandes gares.



